



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PEMODELAN DAN SIMULASI PV PANEL PADA
COMBINED SOLAR TRACKER MENGGUNAKAN
FUZZY-BFO (*BACTERIAL FORAGING
OPTIMIZATION*)**

DINA ASTRI RIANA
NRP.02311645000002

Dosen Pembimbing
Dr. Imam Abadi, ST. MT.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TF141581

**MODELING AND SIMULATION OF PV PANEL
ON COMBINED SOLAR TRACKER USING
FUZZY-BFO (*BACTERIAL FORAGING
OPTIMIZATION*)**

DINA ASTRI RIANA
NRP.02311645000002

Supervisors
Dr. Imam Abadi, ST. MT.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Dina Astri Riana
NRP : 02311645000002
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “PEMODELAN DAN SIMULASI PV PANEL PADA *COMBINED SOLAR TRACKER* MENGGUNAKAN FUZZY-BFO (*BACTERIAL FORAGING OPTIMIZATION*)” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 26 Juli 2018
Yang membuat
pernyataan,

Dina Astri Riana

LEMBAR PENGESAHAN
PEMODELAN DAN SIMULASI PV PANEL PADA
COMBINED SOLAR TRACKER MENGGUNAKAN
FUZZY- BFO (BACTERIAL FORAGING
OPTIMIZATION)

TUGAS AKHIR

Oleh :
Dina Astri Riana
NRP : 02311645000002

Surabaya, 26 Juli 2018

Mengetahui / Menyetujui

Pembimbing



Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.
NIP. 19761006 199903 1 002



Kepala Departemen Teknik Fisika

Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002

LEMBAR PENGESAHAN
PEMODELAN DAN SIMULASI PV PANEL PADA
COMBINED SOLAR TRACKER MENGGUNAKAN
FUZZY- BFO (*BACTERIAL FORAGING*
***OPTIMIZATION*)**

TUGAS AKHIR




Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Dina Astri Riana

NRP : 02311645000002

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1. Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. |  (Pembimbing) |
| 2. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes |  (Ketua Penguji) |
| 3. Dr. Ir. Ali Musyafa' ,Msc |  (Penguji I) |

SURABAYA
26 Juli, 2018

PEMODELAN DAN SIMULASI PV PANEL PADA COMBINED SOLAR TRACKER MENGGUNAKAN FUZZY- BFO (*BACTERIAL FORAGING OPTIMIZATION*)

Nama : Dina Astri Riana
NRP : 0231 16 4500 0002
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Sumber energi terbarukan bersumber dari matahari dapat mensuplai energi surya yang diterima dari matahari ke permukaan bumi mencapai 3×10^{24} joule pertahun. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di dunia. PLTS atau lebih dikenal dengan sel surya (*photovoltaic cells*) adalah divais yang mampu megkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. Maka dari itu untuk memaksimalkan keluaran dari pada *photovoltaic* diperlukan model PV yang memiliki efisiensi yan baik. Pembuatan fotovoltaiik diperlukan model yang akurat secara rinci efek radiasi, suhu, dan kecepatan angin pada parameter PV panel. Pada penelitian dilakukan pemodelan dan simulasi pada PV Panel *Combined Solar Tracker* dengan metode Fuzzy-BFO (*Bacterial Foraging Optimization*) dan dilakukan pengujian secara *real time* untuk mengetahui model yang paling mendekati secara akurat. Hasil simulasi Panel PV *Combined Solar Tracker* dengan metode Fuzzy dan Fuzzy-BFO (*Bacterial Foraging Optimization*) menunjukkan bahwa hasil Simulasi Fuzzy dan Fuzzy-BFO (*Bacterial Foraging Optimization*) mampu menghasilkan akurasi yang baik pada *output* tegangan Fuzzy sebesar 0,03423 dan Fuzzy-BFO sebesar 0,03186 dan pada output arus Fuzzy sebesar 0,03175 dan Fuzzy-BFO sebesar 0,03021.

Kata kunci : Pemodelan PV, Optimasi, PV Panel Hybird

MODELING AND SIMULATION OF PV PANEL ON HYBRID SOLAR TRACKER USING FUZZY-BFO

Name : Dina Astri Riana
NRP : 0231 16 4500 0002
Study Program : S1 Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

ABSTRACT

Renewable energy sourced from the sun can supply solar energy obtained from the sun to the surface of the earth reaching 3×10^{24} joules per year. The amount of energy is 10,000 times worldwide. PLTS or better known as solar cells (photovoltaic cells) is a device capable of megkonversi direct sunlight into electricity. Therefore, to replace the photovoltaic required PV models that have good efficiency. Creates the required photovoltaic model accurately, temperature, and speed on PV panel parameters. In this evolution and modeling on PV Panel of Combined Solar Tracker with Fuzzy-BFO (Bacterial Foraging Optimization) method and done in real time to know the most accurate model accurately. The active result of Combined Solar Tracker PV Panel with Fuzzy and Fuzzy-BFO(Bacterial Foraging Optimization) method shows that the asyl simulated Fuzzy and Fuzzy BFO able to produce good data at Fuzzy voltage output of 0.03423 and Fuzzy-BFO of 0.03186 and at Fuzzy current output of 0.03175 and Fuzzy-BFO of 0.03021.

Keywords : Modeling PV, Optimization, PV Panel Combined

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Tidak lupa juga penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada keluarga dan para sahabat. Oleh karena dukungan mereka, penulis mampu menyusun laporan tugas akhir ini. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FTI-ITS. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D. selaku ketua departemen Teknik Fisika ITS.
2. Segenap keluarga yang telah memberikan dukungan penuh dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Dr. Imam Abadi, S.T, M.T.. selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, yang selalu sabar memberikan semangat dan masukan-masukan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
4. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika - ITS.
5. Orang tua saya tercinta, terima kasih atas segala dukungan dan kepercayaan baik moril, spiritual dan material. Semoga selalu dilimpahkan rahmat dan hidayahnya.
6. Teman-teman seperjuangan TA (Tiara, Kiki, Ames, Tika, Chervilia, Uyun, Tika) yang telah memotivasi dan memberikan bantuan-bantuan dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.
7. Rekan-rekan Lintas Jalur TF 2016 dan warga Teknik Fisika - ITS, yang senantiasa memberikan motivasi dan keceriaan.
8. Teman-teman (Novia, Tiara, Rachma, Jessie, Ria dan Icha) yang selalu mensupport, dan selalu menghibur dalam suka maupun duka.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan

saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi kedepannya. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi yang membacanya.

Surabaya, 25 Juli 2018

Dina Astri Riana
02311645000002

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PLAGIARISME.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Laporan.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Fotovoltaik	5
2.1.1 Efek Fotovoltaik	6
2.1.2 Mekanisme Konversi Energi	6
2.2 Tipe Fotovoltaik	7
2.2.1 <i>Monocrystalline Sillicon</i>	8
2.2.2 <i>Polycrystalline Sillicone</i>	8
2.2.3 <i>Thin Film</i>	8
2.3 Susunan Fotovoltaik.....	9
2.4 Karakteristik Fotovoltaik.....	9
2.5 <i>Fuzzy Logic Controller</i>	13
2.5.1 Representasi Logika <i>Fuzzy</i>	14
2.5.2 Macam – macam Logika <i>Fuzzy</i>	18
2.6 <i>Bacterial Foraging Optimization</i>	20
2.6.1 Proses Kemotaksis	21
2.6.2 Proses Reproduksi	21
2.6.3 Proses Eliminasi	21
2.6.4 Proses <i>Swarming</i>	21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	24
3.2 Studi Literatur	24
3.3 Rancangan Penelitian	24
3.3.1 Spesifikasi Photovoltaic.....	25
3.3.2 Spesifikasi Alat Ukur.....	26
3.3.2.1 <i>Phyranometer</i>	26
3.3.2.2 Anemometer	27
3.4 Penetapan Variabel Penelitian	28
3.5 Pengambilan Data.....	29
3.6 Pengolahan Data.....	30
3.7 Perancangan Model Fuzzy Sugeno	33
3.7.1 Menentukan jumlah <i>epoch</i> (iterasi)	35
3.7.2 Menganalisa <i>output</i> dari Pemodelan.....	35
3.8 Perancangan Model BFO.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Hasil Pemodelan PV Panel Pada <i>Hybird Solar Tracker Passive</i>	39
4.1.1 Hasil Validasi 3 <i>Membership Function Passive</i>	41
4.1.2 Hasil Validasi 5 <i>Membership Function Passive</i>	44
4.1.4 Hasil Validasi 7 <i>Membership Function Passive</i>	47
4.2 Hasil Pemodelan PV Panel Pada <i>Hybird Solar Tracker Passive</i>	50
4.2.1 Hasil Validasi 3 <i>Membership Function Active</i>	41
4.2.2 Hasil Validasi 5 <i>Membership Function Active</i>	54
4.2.3 Hasil Validasi 7 <i>Membership Function Active</i>	57
4.3 Hasil Perbandingan Simulasi Fuzzy dan FuzzyBFO.....	60
4.3.1 Hasil Simulasi 3 <i>Membership Function Passive dan Active</i>	60
4.3.2 Hasil Simulasi 5 <i>Membership Function Passive dan Active</i>	63
4.3.3 Hasil Simulasi 7 <i>Membership Function Passive dan Active</i>	67
BAB V PENUTUP.....	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran	71

DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).	7
Gambar 2.2 Ilustrasi p-n junction pada sel fotovoltaik	9
Gambar 2.3 Sel Fotovoltaik <i>Monocrystal Silicon</i>	10
Gambar 2.4 Susunan Fotovoltaik	11
Gambar 2.5 Karakteristik Sel Fotovoltaik Terhadap Perbedaan Radiasi	11
Gambar 2.6 Karakteristik Sel Fotovoltaik Terhadap Perbedaan Suhu	11
Gambar 2.7 Sistematika Fuzzy Logic Controller	12
Gambar 2.8 Representasi Linier Naik	14
Gambar 2.9 Representasi Linier Turun	14
Gambar 2.10 Representasi Kurva Segitiga.....	15
Gambar 2.11 Representasi Kurva Trapesium.....	16
Gambar 2.12 Representasi Kurva <i>Generalized Bel</i>	16
Gambar 2.13 Representasi Kurva Gaussian	16
Gambar 2.14 Lintasan Bakter.....	19
Gambar 2.15 Bacterial Foraging Process	21
Gambar 3.1 Flowchart Pelaksanaan Tugas Akhir	21
Gambar 3.2 <i>Photovoltaic Tipe Poly Crystalline Solar Module</i> ...	25
Gambar 3.3 Phyranometer.....	26
Gambar 3.4 Anemometer	26
Gambar 3.5 <i>Membership Function</i>	33
Gambar 3.6 Kurva Trimf untuk Variabel Temperature.....	34
Gambar 3.7 Kurva Trimf untuk Variabel iradiasi	34
Gambar 3.8 Kurva Trimf untuk Variabel kecepatan angin	34
Gambar 3.9 <i>Rule Base</i>	35
Gambar 3.10 Kurva Trimf Fuzzy BFO untuk Variabel Temperature.	36
Gambar 3.11 Kurva Trimf Fuzzy BFO untuk Variabel Iradiasi..	36
Gambar 3.12 Kurva Trimf Fuzzy BFO untuk Variabel Kecepatan Angin	36
Gambar 4.1 Hasil perbandingan Model 3 <i>membership function</i> <i>Passive</i> P1,P2,P3 dan P4 Pada Fuzzy dan Fuzzy BFO dengan data pengukuran	41

Gambar 4.2 Hasil perbandingan Model 5 <i>membership function</i> <i>Passive</i> P1,P2,P3 dan P4 Pada Fuzzy dan Fuzzy BFO dengan data pengukuran	45
Gambar 4.3 Hasil perbandingan Model 7 <i>membership function</i> <i>Passive</i> P1,P2,P3 dan P4 Pada Fuzzy dan Fuzzy BFO dengan data pengukuran	48
Gambar 4.4 Hasil perbandingan Model 3 <i>membership function</i> <i>active</i> P1,P2,P3 dan P4 Pada Fuzzy dan Fuzzy BFO dengan data pengukuran	52
Gambar 4.5 Hasil perbandingan Model 5 <i>membership function</i> <i>active</i> P1,P2,P3 dan P4 Pada Fuzzy dan Fuzzy BFO dengan data pengukuran	55
Gambar 4.6 Hasil perbandingan Model 7 <i>membership function</i> <i>active</i> P1,P2,P3 dan P4 Pada Fuzzy dan Fuzzy BFO dengan data pengukuran	58
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan nilai Tegangan dan arus hasil simulasi pada PV Panel <i>Passive</i> 3 <i>membership Function</i>	60
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan nilai Tegangan dan arus hasil simulasi pada PV Panel <i>active</i> 3 <i>membership Function</i>	61
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan nilai Tegangan dan arus hasil simulasi pada PV Panel <i>Combined</i> 3 <i>membership Function</i>	62
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan nilai Tegangan dan arus hasil simulasi pada PV Panel <i>Passive</i> 5 <i>membership Function</i>	64
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan nilai Tegangan dan arus hasil simulasi pada PV Panel <i>active</i> 5 <i>membership Function</i>	65
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan nilai Tegangan dan arus hasil simulasi pada PV Panel <i>Combined</i> 5 <i>membership Function</i>	66
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan nilai Tegangan dan arus hasil simulasi pada PV Panel <i>Passive</i> 7 <i>membership Function</i>	68

Gambar 4.14 Grafik Perbandingan nilai Tegangan dan arus hasil simulasi pada PV Panel <i>active 7 membership Function</i>	69
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan nilai Tegangan dan arus hasil simulasi pada PV Panel <i>Combined 7 membership Function</i>	70

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Modul Fotovoltaik Tipe Poly Crystalline Solar Modul	25
Tabel 3.2 Spesifikasi Phyranometer	26
Tabel 3.3 Spesifikasi Anemomete	28
Tabel 3.4 Variabel yang akan diambil.....	29
Tabel 3.5 Informasi Pengambilan Data	29
Tabel 3.6 Contoh data Pengukuran pada Excel.....	30
Tabel 3.7 Contoh Data Normalisasi	32
Tabel 4.1 Skenario Percobaan Variasi Input	40
Tabel 4.2 Karakteristik Data Pengukuran PV Panel <i>Combined Solar Tracker passiv</i>	40
Tabel 4.3 Analisis RMSE dan MSE Percobaan 3 <i>membership function Passive</i>	43
Tabel 4.4 Analisis RMSE dan MSE Percobaan 5 <i>membership function Passive</i>	46
Tabel 4.5 Analisis RMSE dan MSE Percobaan 7 <i>Membership Function Passive</i>	49
Tabel 4.6 Karakteristik Data Pengukuran PV Panel <i>Combined Solar Tracker active</i>	50
Tabel 4.7 Analisis RMSE dan MSE Percobaan 3 <i>membership function active</i>	53
Tabel 4.8 Analisis RMSE dan MSE Percobaan 5 <i>membership function active</i>	56
Tabel 4.9 Analisis RMSE dan MSE Percobaan 7 <i>membership function active</i>	59
Tabel 4.10 Perbandingan RMSE dan MSE Hasil Uji Simulasi 3 <i>Membership function</i>	63
Tabel 4.11 Perbandingan RMSE dan MSE Hasil Uji Simulasi 5 <i>Membership function</i>	65
Tabel 4.12 Perbandingan RMSE dan MSE Hasil Uji Simulasi 7 <i>Membership function</i>	68

DAFTAR NOTASI

N	: Jumlah Data
Y_t	: Nilai Aktual Indeks
Y^t	: Nilai Prediksi Indeks
MSE	: Mean Squared Error
RMSE	: Root Mean Squared Error
μ_{Ai}, μ_{Bi-2}	: Fungsi keanggotaan masing masing simpul
X	: <i>nilai hasil normalisasi</i>
X_p	: <i>nilai data asli yang belum dinormalisasi</i>
$minX_p$: <i>nilai minimum pada set</i>
$maxX_p$: <i>nilai maksimum pada set</i>
T	: suhu PV
I_r	: irradiant
V	: kecepatan angin
M_f	: Membersip function
I	: arus
V	: tegangan
O	: output
PV	: Photovoltaic

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penelitian yang dilakukan mengenai energi terbarukan yang bersumber dari matahari. Matahari memiliki potensi yang besar bagi kebutuhan manusia. Energi matahari didapat dari panas yang merambat ke permukaan bumi. Penelitian yang telah ada menyatakan bahwa dengan mengubah intensitas matahari yang dikonversi dengan solar sel dapat menghasilkan energi listrik yang dapat berguna untuk manusia. Sumber energi terbarukan bersumber dari matahari dapat mensuplai energi surya yang diterima dari matahari ke permukaan bumi mencapai 3×10^{24} joule pertahun. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di dunia. Cahaya matahari yang sangat melimpah di seluruh kepulauan Indonesia hampir sepanjang tahun merupakan sumber energi yang sangat potensial untuk dijadikan sebagai sumber energi listrik [1].

Indonesia merupakan negara yang dilewati garis khatulistiwa. Merupakan negara beriklim tropis yang hanya memiliki dua musim yaitu musim kemarau dan musim hujan. Oleh karena itu intensitas cahaya matahari yang tinggi pada setiap harinya sehingga Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam hal pemanfaatan sumber energi terbarukan. Hal ini dapat dilihat paparan matahari di wilayah sebelah barat terpapar energi surya sekitar 4,5-4,8 kWh/m²/hari dengan deviasi bulanan sebesar 10%. Sedangkan untuk wilayah sebelah timur memiliki paparan energi surya hingga 5,1 kWh/m²/hari dengan deviasi bulanan sekitar 9% [1]. PLTS atau lebih dikenal dengan sel surya (*photovoltaic cells*) adalah divais yang mampu megkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik [2]. Melakukan pemodelan *photovoltaic* terdapat parameter-parameter yang harus diketahui. Jumlah parameter yang tidak diketahui meningkat ketika rangkaian setara dengan model yang dipilih jauh dari bentuk ideal. Tapi kebanyakan dari datasheet tidak memberikan informasi yang cukup tentang parameter yang tergantung pada sehubungan dengan sifat fisik dari perilaku sel

yang diperlukan untuk membangun model PV Panel karakteristik $I(V)$ merupakan persamaan non linear dengan beberapa parameter yang harus diketahui dan dihitung secara akurat yaitu resistensi seri, resistensi *parallel*, *photocurrent* (I_{ph}), arus saturasi (I_0) dan faktor idealistik (A) [3]. Sehingga pembuatan fotovoltaiik diperlukan sebagai dampak pengaruh radiasi, suhu, dan kecepatan angin pada parameter PV panel. Model yang dipilih yaitu dengan menggunakan pendekatan model *Fuzzy-BFO*, pada PV Panel yang dirancang dengan menggunakan *Fuzzy* yang kemudian dilakukan optimasi menggunakan *BFO* (*Bacterial Foraging Optimzation*) dan dilakukan validasi untuk mengetahui ketepatan dari simulasi yang dibuat dalam mengukur keluaran dari PV Panel pada *Combined Solar Tracker* dengan melakukan perbandingan untuk pv panel *Active* dan *Passive*. Selain itu juga dilakukan pengujian yang merupakan proses yang bertujuan untuk memastikan apakah sistem bekerja dengan baik dan mencari kesalahan yang mungkin terjadi pada sistem. Oleh karena itu pada tugas akhir ini akan melakukan penelitian pemodelan dan simulasi pada PV Panel *Combined Solar Tracker* dengan metode *Fuzzy-BFO* dan dilakukan suatu pengujian secara *real time* untuk mengetahui model yang paling mendekati secara akurat.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang diangkat dalam Tugas Akhir ini yaitu :

- a. Bagaimana memodelkan parameter PV panel *Combined Solar Tracker* dengan variasi *input* menggunakan metode *Fuzzy-BFO*?
- b. Bagaimana melakukan validasi model melalui pengujian PV panel secara *real plant* ?
- c. Bagaimana perbandingan akurasi hasil pemodelan PV panel *Combined Solar Tracker* menggunakan metode *Fuzzy-BFO*?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Memodelkan parameter PV panel *Combined Solar Tracker* dengan variasi *input* menggunakan metode Fuzzy-BFO?
- b. Melakukan validasi model melalui pengujian PV panel secara *real plant* ?
- c. Melakukan perbandingan akurasi hasil pemodelan PV panel *Combined Solar Tracker* menggunakan metode Fuzzy BFO.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. PV panel yang dimodelkan memiliki kapasitas 250 watt peak
- b. Jenis PV yang dimodelkan solar cell tipe *Poly Crystalline Solar Module*
- c. Jumlah *input* ada 3 yaitu radiasi, suhu dan kecepatan angin, dan jumlah *outputnya* ada 2 yaitu tegangan dan arus.
- d. Pengukuran variabel *input* dilakukan secara simultan.
- e. Digunakan model *fuzzy static* sebagai pembanding.
- f. Metode Optimasi yang digunakan yaitu BFO (*Bacterial Foraging Optimitation*)

1.5 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini disusun secara sistematis, tersusun beberapa bab sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan serta sistematika laporan dari tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka ini berisi dasar teori yang terkait dengan tugas akhir tentang model fotovoltaiik pemodelan dan simulasi pada PV Panel *Combined Solar Tracker* dengan metode Fuzzy-BFO. Pada bab ini terdiri dari dasar teori tentang modul PV Panel dan karakteristik PV Panel, *Solar tracker* Fuzzy-BFO

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian yang dimulai pengambilan data pengukuran, pemodelan PV Panel dan simulasi, pengujian dan validasi.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil simulasi model fotovoltaiik dengan software Matlab, analisa hasil pengukuran Fuzzy dan BFO

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dari pemodelan dan simulasi pada PV Panel *Combined Solar Tracker* dengan metode Fuzzy- BFO dan saran peneliti.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Fotovoltaik

Sel fotovoltaik merupakan semikonduktor yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik tanpa menggunakan bahan bakar dan alat mekanis. Sel fotovoltaik terbuat dari *silicon (Si)*, *gallium arsenide (GaAs)*, *copper indium diselenide (CIS)*, *cadmium telluride (CdTe)* dan sebagian kecil material lainnya. Beda potensial tegangan pada sel fotovoltaik menyebabkan elektron bergerak. Elektron yang bergerak inilah yang disebut sebagai arus listrik [4].

Fotovoltaik dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama cocok digunakan apabila listrik sedang mati atau tidak tersedia seperti di wilayah terpencil yang memiliki akses yang sulit untuk dijangkau oleh listrik dari pembangkit pln, selain itu dapat dimanfaatkan untuk satelit pengorbit bumi, kalkulator genggam, dll. Umumnya modul fotovoltaik ini digunakan sebagai sumber listrik dari energi surya sebagai pengganti sumber listrik dari bahan bahan bakar fosil yang dapat mengeluarkan daya ratusan watt hingga mega watt. Penerapan modul fotovoltaik yang sekarang terus dikembangkan menjadi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)[4]

2.1.1 Efek Fotovoltaik

Sistem fotovoltaik bekerja dengan prinsip efek fotovoltaik. Efek fotovoltaik pertama kali ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839. Efek ini adalah peristiwa dimana suatu sel fotovoltaik dapat menyerap energi cahaya dan merubahnya menjadi energi listrik yang menyebabkan munculnya voltase akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat diletakkan di bawah energi matahari [5].

Energi atau radiasi cahaya yang didalamnya terdapat foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda akan dibiaskan, diserap atau diteruskan ketika mengenai sel fotovoltaik. Foton yang dimiliki energi surya ini yang akan memicu timbulnya energi listrik [6].

2.1.2 Mekanisme Konversi Energi

Pada dasarnya mekanisme konversi energi cahaya terjadi akibat adanya perpindahan elektron bebas didalam suatu atom. Konduktifitas elektron atau kemampuan transfer elektron dari suatu material terletak pada banyaknya elektron valensi dari suatu material [6].

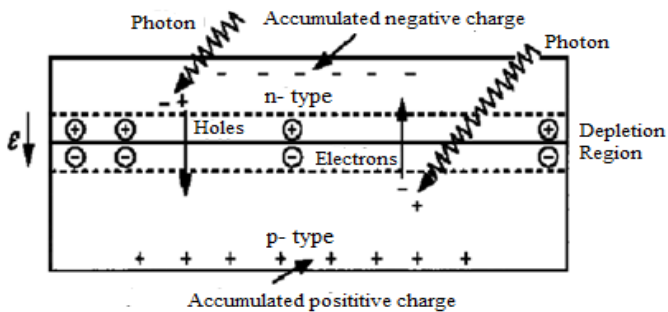
Sel fotovoltaik pada umumnya menggunakan material semikonduktor sebagai penghasil elektron bebas. Material semikonduktor adalah suatu padatan (*solid*) dan seperti logam, konduktifitas elektriknya juga ditentukan oleh elektron valensinya. Namun berbeda dengan logam yang konduktifitasnya menurun dengan kenaikan temperatur, material semikonduktor konduktifitasnya akan meningkat secara *significant*. Mekanisme kerja fotovoltaik dijelaskan secara singkat seperti berikut [7]:

- a. Foton dalam cahaya matahari mengenai panel solar dan diserap oleh bahan semikonduktor, seperti silikon
- b. Elektron (muatan negatif) dilepaskan dari atomnya memungkinkan elektron-elektron ini untuk mengalir melalui material untuk memproduksi listrik. Muatan positif terbentuk (seperti gelembung) disebut *hole* dan

mengalir ke arah yang berlawanan dengan elektron didalam silikon fotovoltaik yang akan menghasilkan energi listrik internal.

- c. Kemudian elektron akan bergerak menjauhi sisi negatif sedangkan *hole* bergerak menjauhi sisi positif. Kemudian fotovoltaik dihubungkan dengan sebuah beban lampu maka akan tercipta sebuah arus listrik [7].

Secara ilustrasi mekanisme konversi energi fotovoltaik dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Ilustrasi *p-n junction* pada sel fotovoltaik[7]

2.2 Tipe Fotovoltaik

Fotovoltaik disusun oleh material sel semikonduktor yang memiliki jenis bahan material sel yang memiliki bermacam-macam jenir. Dari jenis material yang digunakan, semakin lama semakin murah dalam harga dan semakin efektif dan efisien dalam penyerapan energi radiasi cahaya matahari. Selain itu perkembangan sel fotovoltaik juga berpengaruh pada estetika luar bangunan yang terus memiliki bentuk dasar dan warna sel yang beragam. Berikut merupakan jenis material sel fotovoltaik [7]:

2.2.1 *Monocrystalline Silicone*

Tipe ini merupakan tipe sel fotovoltaik yang paling efektif dan efisiensi menyerap energi dari radiasi sinar matahari

yaitu sebesar 15%. Terbuat dari silicon dengan satu struktur kristal yang kontinu. *Monocrystal silicon* merupakan sel fotovoltaik yang paling mahal dari segi harga karena pembuatannya yang masih rumit [7]. Bentuk dari fotovoltaik *monocrystal silicon* dapat dilihat pada Gambar 2.3 .



Gambar 2.3 Sel Fotovoltaik *Monocrystal Silicon* [7]

2.2.2 *Polycrystal Silicone*

Merupakan tipe sel yang cukup efisien dalam menyerap energi radiasi sinar matahari yaitu sekitar 12%. Terbuat dari berbagai macam serat kristal silikon seperti lembaran silikon, *stainless steel*, keramik dan kaca. Biaya untuk memproduksi *polycrystalline silicon* lebih murah daripada *monocrystal silicon* [7]. Bentuk dari fotovoltaik *polycrystal silicone* dapat dilihat pada Gambar 2.4 .

2.2.3 *Thin Film*

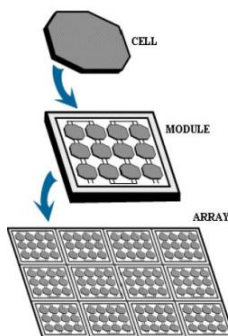
Merupakan tipe sel fotovoltaik yang paling tipis sehingga mudah untuk dibentuk-bentuk. Memiliki efisiensi yang rendah sekitar 5-6%. Merupakan sel yang terbuat dari silikon dengan struktur lapisan kristal yang tipis sehingga sel yang dihasilkan lebih tipis daripada jenis sel yang lain. Sel yang termasuk jenis *thin film* antara lain : *amorphous silicon* (a-Si), *cadmium telluride* (CdTe), *copper indium diselenide* (CIS),

gallium arsenide (GaAs), titanium dioxide gratzel cell (TiO₂).[7]

2.3 Susunan Fotovoltaik

Sistem fotovoltaik tersusun dari modul yang didalamnya terdapat banyak sel fotovoltaik tersusun secara seri dan paralel. Daya yang diproduksi dari *single diode* kurang terpenuhi untuk digunakan secara komersial, sehingga modul dihubungkan menjadi *array* untuk dapat mensuplai beban.

Modul dapat juga dihubungkan secara seri untuk mendapatkan peningkatan voltase atau paralel untuk mendapatkan penurunan arus [8]. Untuk lebih jelasnya perbedaan antara sel, modul dan array dapat dilihat pada Gambar 2.4

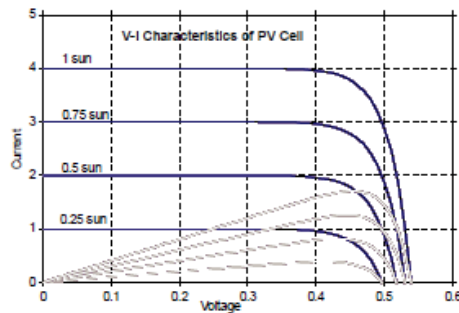


Gambar 2.4 Susunan fotovoltaik[8]

2.4 Karakteristik Fotovoltaik

Keluaran dari sel fotovoltaik sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, yaitu radiasi matahari dan suhu sel. Dari persamaan 2.1 arus dibangkitkan oleh foton, I_{ph} yang berhubungan dengan radiasi matahari seperti dapat dilihat pada persamaan 2.3.

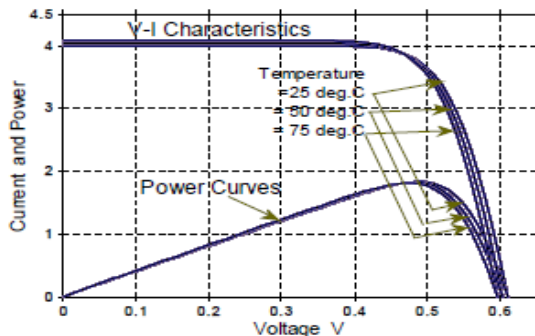
Dilihat pada persamaan 2.3 pada suhu konstan, arus yang dibangkitkan oleh foton secara langsung proporsional terhadap radiasi matahari [9]. Pengaruh radiasi matahari pada kurva karakteristik V-I dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2. 5 Karakteristik Sel Fotovoltaik Terhadap Perbedaan Radiasi [9]

Gambar 2.5, radiasi matahari 1 *sun* artinya sebesar 1000 W/m^2 , 0,75 *sun* sebesar 750 W/m^2 , 0,5 *sun* sebesar 500 W/m^2 dst. Jika radiasi matahari yang jatuh ke fotovoltaik berkurang, maka I dan V juga berkurang tetapi perubahan V tidak terlalu signifikan dari pada I [9].

Selain radiasi, suhu juga berpengaruh terhadap karakteristik fotovoltaik. Suhu sel dapat mempengaruhi arus hubungan singkat I_{sc} , seperti yang dapat dilihat pada persamaan 2.4 dan persamaan 2.5, merubah arus saturasi dioda dalam sel fotovoltaik. Pengaruh Pengaruh suhu pada kurva karakteristik V-I dapat dilihat pada Gambar 2.6

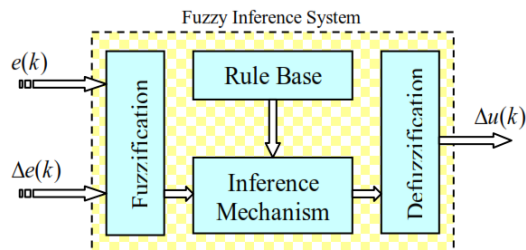


Gambar 2. 6 Karakteristik Sel Fotovoltaik Terhadap Perbedaan Suhu [9]

Dapat dilihat pada Gambar 2.6 jelas arus saturasi dari dioda sel fotovoltaik bergantung pada suhu, arus saturasi meningkat seiring peningkatan suhu sel. Selain itu juga menunjukkan pengaruh suhu sel terhadap karakteristik V-I, peningkatan arus akan memperkecil tegangan rangkaian terbuka, V_{oc} [9].

2.5 Fuzzy Logic Controller

Logika fuzzy adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan (*Artificial Inteligent*) yang mengemulasi kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian dijalankan oleh mesin. Algoritma ini digunakan dalam berbagai aplikasi pemrosesan data yang tidak dapat direpresentasikan dalam bentuk biner. Logika *fuzzy* menginterpretasikan statemen yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis. Pada dasarnya struktur logika *fuzzy* dapat digambarkan seperti berikut [10].



Gambar 2.7 Sistematika *Fuzzy Logic Controller*[10]

Fungsi dari bagian-bagian diatas adalah sebagai berikut:

- *Input*
Masukkan pada *fuzzy logic* berupa *crisp* (variabel fisis) atau bilangan *real*.
- Fuzzifikasi
Himpunan *fuzzy* merupakan suatu pengembangan lebih lanjut tentang konsep himpunan dalam matematika. Himpunan *fuzzy* adalah rentang nilai-nilai. Masing-masing nilai mempunyai derajat keanggotaan (*membership*) antara 0 sampai dengan 1. Pada kolom fuzzifikasi mengkonversi *crisp* (variabel fisis) menjadi suatu bilangan *fuzzy* (variable

linguistik) menggunakan operator fuzzifikasi. Bagian fuzzifikasi yang berguna untuk memetakan adalah fungsi keanggotaan (*membership function*) yang terdiri dari beberapa segitiga. Semakin banyak jumlah dari *membership function* yang ditentukan maka akan semakin bagus yang akan diperoleh namun untuk melakukan eksekusi memerlukan waktu yang lama dan data yang lebih banyak [10].

- **Rule Base dan Fuzzy Inference System**

Berisi aturan-aturan dasar yang mendefinisikan himpunan *fuzzy* atas daerah-daerah masukan dan keluaran serta sebagai acuan sistem. Aturan dasar ini menggunakan persamaan *IF – THEN*. Untuk mendapatkan aturan “*IF-THEN*” ada dua cara utama :

1. Menanyakan ke operator manusia yang dengan cara manual telah mampu mengendalikan sistem tersebut, dikenal dengan “*human expert*”.
2. Dengan menggunakan algoritma pelatihan berdasarkan data-data masukan dan keluaran.

Dalam penalaran logika fuzzy, ada dua tipe utama untuk pengambilan keputusan fuzzy yaitu : *Generalized Modus Ponens* (GMP) dan *Generalized Modus Tolens* (GMT). GMP disebut juga dengan *direct reasoning*, sedangkan GMT disebut juga *indirect reasoning* [10].

- **Defuzzifikasi**

Keputusan yang dihasilkan dari proses penalaran masih dalam bentuk fuzzy, yaitu berupa derajat keanggotaan keluaran. Hasil ini harus diubah kembali menjadi variabel numerik non fuzzy (*crisp*) melalui proses defuzzifikasi [10].

2.5.1 Representasi Logika Fuzzy

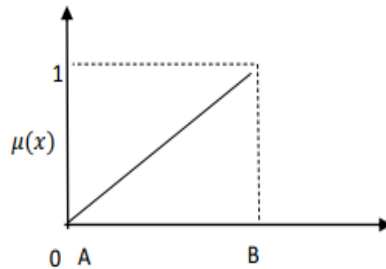
Dan dalam logika fuzzy dikenal juga fungsi keanggotaan (*membership function*), yaitu suatu kurva yang menunjukkan pemetaan antara titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (derajat keanggotaan).

Dalam mendapatkan nilai keanggotaan salah satu caranya bisa menggunakan pendekatan fungsi [11]. Adapun jenis representasi logika fuzzy adalah sebagai berikut:

1. Representasi Linier

Pemetaan representasi berbentuk garis lurus dan ini termasuk bentuk paling sederhana. Representasi linier terbagi menjadi dua, yakni representasi linear naik dan representasi linier turun

Representasi linier naik memiliki titik yang dimulai dari [0,0] yang kemudian naik ke arah kanan ke nilai keanggotaan yang tertinggi.

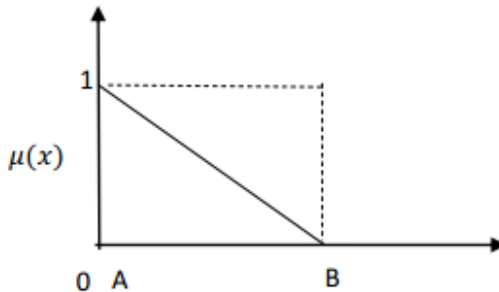


Gambar 2.8 Representasi Linier Naik [11]

Fungsi keanggotaan representasi linier naik:

$$\mu[x] = \begin{cases} \frac{(x-A)}{(B-A)}, & A \leq x \leq B \\ 0, & x \geq B \end{cases} \quad (2.1)$$

Sedangkan representasi linier turun, memiliki titik yang dimulai dari derajat keanggotaan tertinggi kemudian bergerak ke titik derajat keanggotaan terendah. Berikut grafik representasi linier turun :



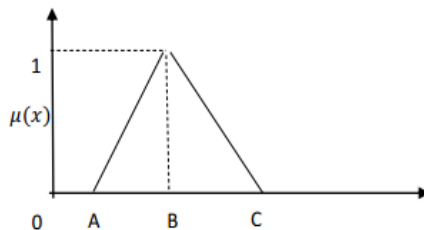
Gambar 2.9 Representasi Linier Turun [11]

Fungsi keanggotaan representasi linier turun :

$$\mu[x] = \begin{cases} \frac{(B-x)}{(B-A)}, & A \leq x \leq B \\ 0, & x \geq B \end{cases} \quad (2.2)$$

2. Representasi kurva segitiga

Representasi kurva segitiga pada dasarnya terdiri atas representasi linier naik dan representasi linier turun. Representasi ini baik digunakan untuk suatu data yang pasti [10] Berikut merupakan gambar dari representasi kurva segitiga :



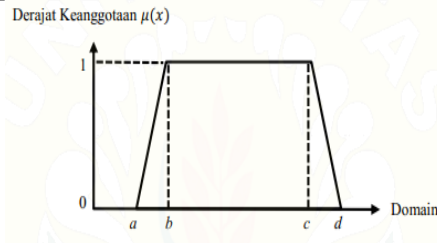
Gambar 2.10 Representasi Kurva Segitiga [11]

Fungsi keanggotaan dari kurva segitiga:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0, & x \leq A \text{ atau } x \geq C \\ \frac{(x-a)}{(B-A)}, & A \leq x \leq B \\ \frac{(c-x)}{(c-B)}, & B \leq x \leq C \end{cases} \quad (2.3)$$

3. Representasi kurva trapesium

Kurva trapesium adalah representasi kurva yang berbentuk trapesium. Kurva trapesium memiliki beberapa titik yang memiliki derajat keanggotaan bernilai 1[10].. Representasi kurva trapesium ditunjukkan pada gambar 2.7



Gambar 2.11 Representasi Kurva Trapesium [11]

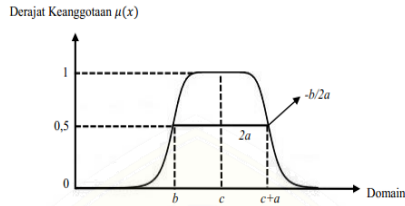
Fungsi keanggotaan trapesium dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$T[x, a, b, c, d] = \begin{cases} 0; & x < a \\ (x-a)I(b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b < x \leq c \\ (d-x)I(d-c); & c \leq x \leq d \\ 0; & x > d \end{cases} \quad (2.4)$$

4. Representasi kurva generalized bell

Kurva *generalized bell* adalah representasi kurva dengan bentuk menyerupai lonceng. Kurva *generalized bell* menggunakan c untuk menunjukkan nilai domain pada pusat kurva dan a untuk menunjukkan setengah lebar kurva.

Representasi kurva generalized bell ditunjukkan pada Gambar 2.8.



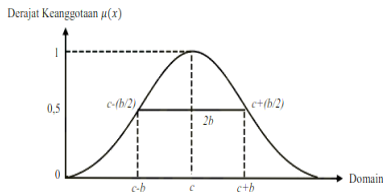
Gambar 2.12 Representasi Kurva Generalized Bell [11]

Fungsi keanggotaan generalized bell dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$bell(x; a, b, c) = \frac{1}{1 \pm \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.5)$$

5. Representasi kurva gaussian

Pada kurva gaussian, c digunakan untuk menunjukkan nilai domain pada pusat kurva (titik pusat domain) dan b menunjukkan setengah lebar kurva (standar deviasi pada himpunan fuzzy). Representasi kurva gaussian dapat dilihat pada Gambar 9



Gambar 2.13 Representasi Kurva Gaussian [11]

Fungsi keanggotaan gaussian dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$G(x; b, c) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2b^2}} \quad (2.6)$$

2.5.2 Macam-macam Logika Fuzzy

Algoritma fuzzy memiliki 3 metode Algoritma fuzzy memiliki ke 3 metode yaitu metode fuzzy Tsukamoto, Sugeno, dan Mamdani dan dari ke 3 metode fuzzy ini memiliki mesin inferensi dan defuzzifikasi yang berbeda. Adapun penjelasan dari masing-masing jenis fuzzy adalah sebagai berikut [11].

A. Fuzzy Inference System Tsukamoto

- Saat proses evaluasi aturan dalam mesin inferensi, metode fuzzy Tsukamoto menggunakan fungsi implikasi MIN untuk mendapatkan nilai α -predikat tiap-tiap rule ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$). Masing-masing nilai α -predikat digunakan untuk menghitung hasil inferensi secara tegas (crisp) masing-masing rule ($z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$) [11].
- Proses defuzzifikasi pada metode Tsukamoto menggunakan metode rata-rata (Average).

B. Fuzzy inference System Sugeno

- Metode Fuzzy Sugeno Orde-Nol
Secara umum bentuk model inferensi fuzzy Sugeno Orde-Nol adalah:
IF (x_1 is A_1) o (x_2 is A_2) o ... o (x_n is A_n) THEN $z = k$
Dengan A_i adalah himpunan fuzzy ke-i sebagai anteseden, dan k adalah suatu konstanta (bersifat crisp) sebagai konsekuen [11].
- Metode Fuzzy Sugeno Orde-Satu
Secara umum bentuk model inferensi fuzzy Sugeno Orde-Satu adalah:
IF (x_1 is A_1) o (x_2 is A_2) o ... o (x_n is A_n) THEN $z = p_1 * x_1 + \dots + p_n * x_n + q$
Dengan A_i adalah himpunan fuzzy ke-i sebagai anteseden, dan P_i adalah suatu konstanta (tegas) ke-I dan q juga merupakan konstanta dalam konsekuen. Apabila komposisi aturan menggunakan metode Sugeno, maka defuzzifikasi dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya [11].

C. Fuzzy Inference System Mamdani

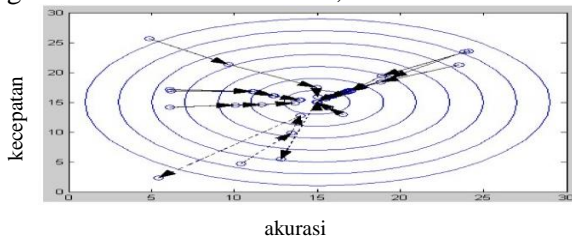
- a. Saat melakukan evaluasi aturan dalam mesin inferensi, metode Mamdani menggunakan fungsi MIN dan komposisian antar-rule menggunakan fungsi MAX untuk menghasilkan himpunan fuzzy baru[11].
- b. Proses defuzzyfikasi pada metode Mamdani menggunakan metode *Centroid* dengan rumus berikut:

2.6 Bacterial Foraging Optimization

Bacterial Foraging Optimization Algorithm termasuk golongan Algoritma Optimasi Bakteri dan Optimasi *Swarm*. Algoritma ini terinspirasi oleh perilaku mencari makan dari Bakteri seperti *E.coli* dan *M.xanthus* [12]. Bakteri akan bergerak ke arah/ menjauh dari sinyal tertentu. menolaknya.

Pada Bacterial Foraging Optimization dilakukan dengan 4 langkah yaitu *Chemotaxis*, *Swarming*, *Reproduction* dan *Elimination and Dispersal* untuk melakukan optimisasi. Jika $J(\theta)$ adalah masalah yang akan dioptimisasi, dimana θ adalah p dimensi dari bilangan real) dan tidak memiliki pengukuran atau deskripsi analitis dari gradient $\nabla J(\theta)$. BFO meniru empat mekanisme utama yang diamati dalam sistem bakteri nyata: kemotaksis, berkerumun, reproduksi dan penghapusan penyebaran untuk memecahkan masalah ini optimisasi non gradien. Sebuah bakteri maya sebenarnya adalah salah satu solusi percobaan (atau disebut pencarian agen) yang bergerak di permukaan fungsional untuk menemukan optimum global.

Strategi bakteri mencari makan terdiri dari 4 proses, yaitu kemotaksis, reproduksi, eliminasi, dan *swarming* [13]. Berikut adalah gambar dari lintasan bakteri,



Gambar 2.14 Lintasan Bakteri[13]

2.6.1 Proses Kemotaksis

kemotaksis dicapai dengan berenang dan *tumbling*. Ketika bakteri memenuhi lingkungan yang baik, maka ia akan terus berenang ke arah yang sama. Sedangkan jika bakteri memenuhi lingkungan yang tidak baik, maka bakteri akan *tumble* atau mengubah arahnya. Pada saat komputasi kemotaksis, gerakan bakteri dapat dijelaskan sebagai berikut,

$$\theta^i(j+1, k, l) = \theta^i(j, k, l) + C(i)\Phi(j) \quad (2.7)$$

Dimana, $C(i)$ adalah ukuran pada langkah yang diambil pada penentuan arah secara random. $\Phi(j)$ berada dalam arah acak yang ditentukan oleh *tumble* [13].

2.6.2 Proses Reproduksi

Reproduksi, dimana bakteri berkeadaan baik saja selama hidupnya yang dapat berkontribusi pada generasi berikutnya. Setiap bakteri yang hidup terbagi menjadi dua bakteri. Mereka ditempatkan di lokasi yang sama. Dengan cara ini, populasi bakteri tetap konstan. Jumlah dari fungsi harga dapat dijelaskan sebagai berikut,

$$J^i \text{ health} = \sum_{j=1}^{N_c} P^{i,j,k,l} \quad (2.8)$$

Dimana, N_c adalah total jumlah dari langkah proses kemotaksis lengkap [13].

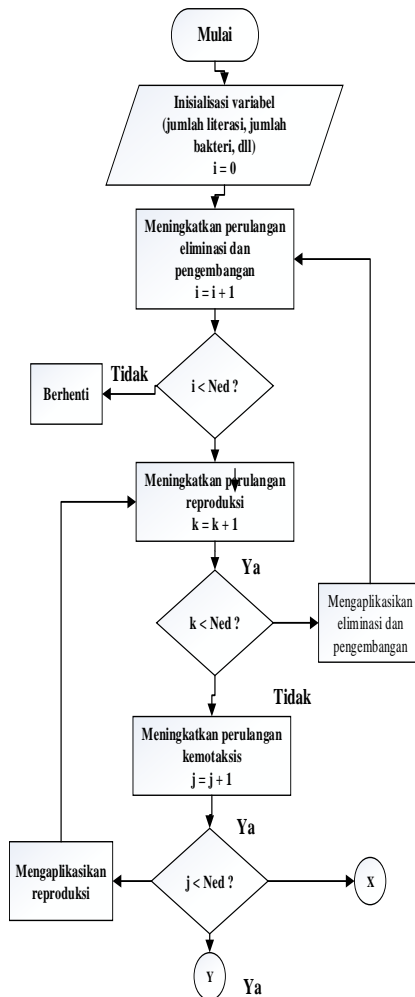
2.6.3 Proses Eliminasi

Kemotaksis memberikan dasar untuk pencarian lokal dan proses reproduksi untuk mempercepat konvergensi. Proses eliminasi terjadi, dimana bakteri yang tidak baik akan dibuang dan sample acak baru akan dimasukkan dengan kemungkinan rendah. Bakteri mempunyai mekanisme yang spesifik seperti penginderaan, aktuasi, dan pengambilan keputusan [13].

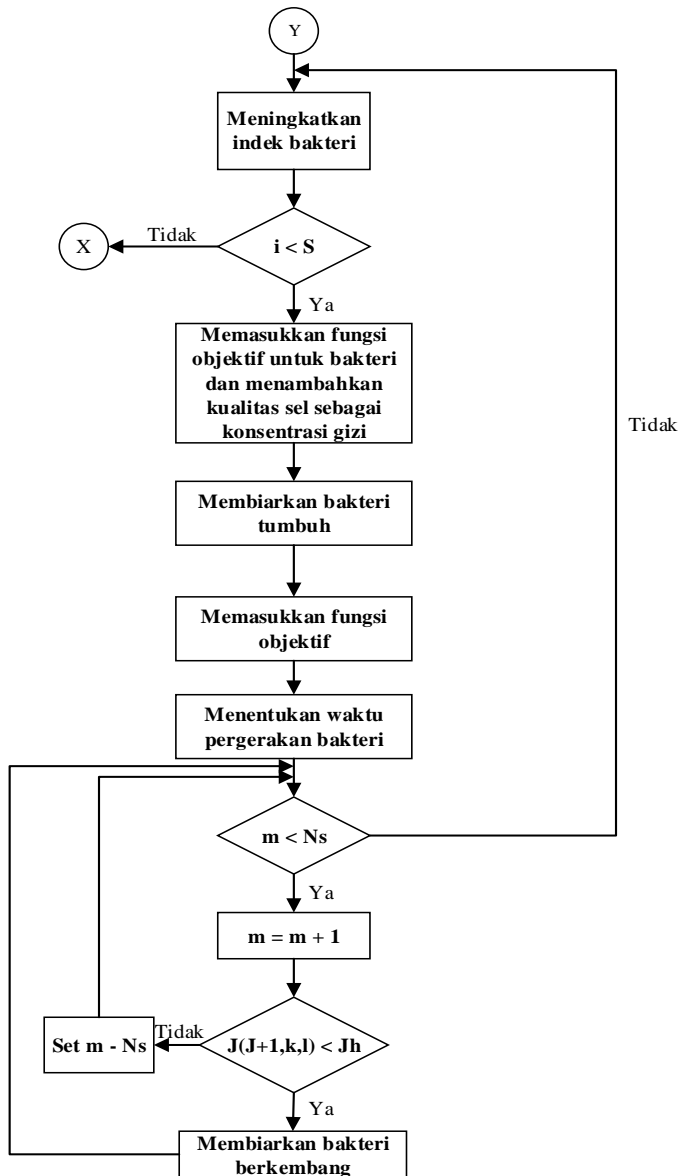
2.6.4 Proses Swarming

Setiap bakteri yang bergerak dapat memberikan sinyal ke bakteri lain untuk berkerumun ke arahnya. Sementara, setiap

bakteri memperingatkan bakteri lain untuk menjaga jarak aman satu sama lain. BFO mensimulasikan perilaku seperti itu dengan mengkombinasi antara daya tarik sel ke sel dan efek menolaknya [13].



Gambar 2.15 Flowchart Optimasi BFO



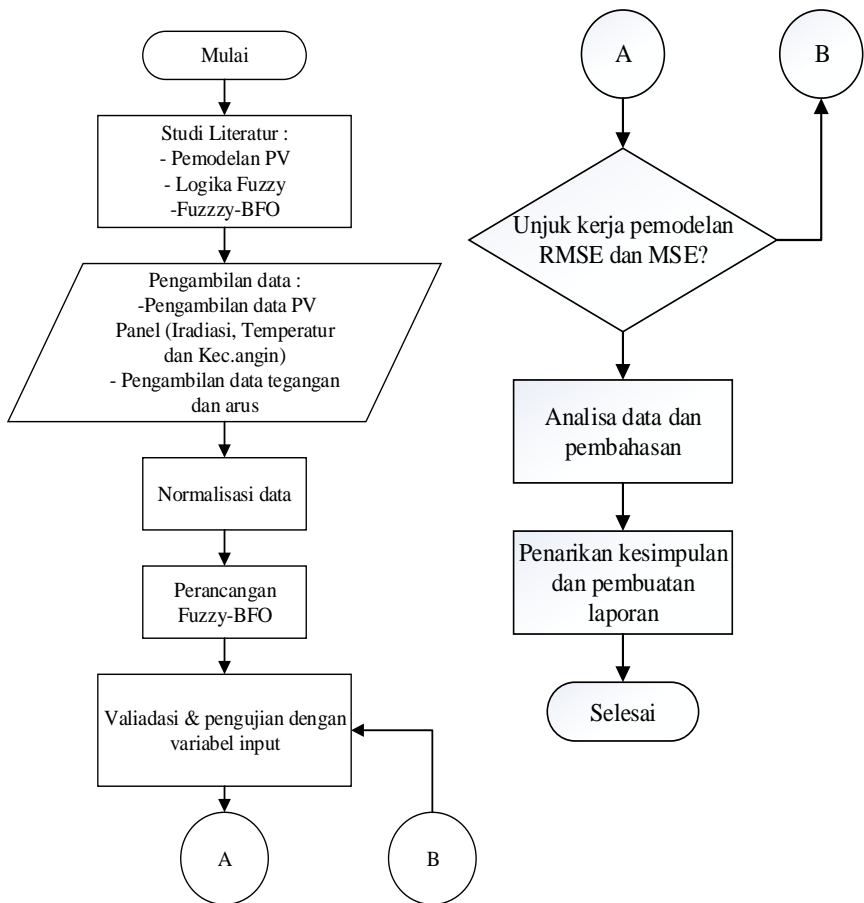
Gambar 2.15 *Flowchart* Optimasi BFO Lanjutan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam pengerjaan Penelitian Tugas Akhir ini terdapat beberapa tahapan. Berikut merupakan diagram Alir (tahapan) dari penelitian yang akan dilakukan



Gambar 3. 1 *Flowchart* Pelaksanaan Tugas Akhir

3.2 Studi Literatur

Studi Literature ini merupakan pengumpulan informasi yang berkaitan dengan komponen – komponen tugas akhir. Selain itu dalam tahapan ini, akan dilakukan pembentukan konsep yang jelas untuk pengerjaan tugas akhir. Dalam studi literatur ini akan memahami bagaimana prinsip kerja PV Panel, mempelajari tentang Fuzzy dan BFO (*Bacterial Foraging Optimization*) dan mempelajari tentang Fuzzy, selain itu juga memahami beberapa jurnal internasional mengenai penerapan pendekatan non analitik untuk mengidentifikasi model PV Panel.

3.3 Rancangan Penelitian

Pada bagian ini membahas mengenai rancangan penelitian spesifikasi sistem PV yang akan digunakan, selain itu juga menentukan beberapa variabel yang ingin diambil datanya, serta alat ukur yang akan digunakan untuk pengambilan data dan spesifikasi masing – masing. Adapun untuk spesifikasi PV dan alat ukur yang digunakan untuk pengambilan data pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.:

3.3.1 Spesifikasi Photovoltaic

Pada pengambilan data ini adapun untuk PV Panel yang digunakan adalah jenis solar cell tipe Poly Crystalline Solar Module. Berikut adalah gambar dan spesifikasi dari PV Panel yang digunakan



Gambar 3. 2 Photovoltaic Tipe Poly Crystalline Solar Module

Tabel 3.1 Spesifikasi Modul Fotovoltaik Tipe *Poly Crystalline Solar Module*

Variabel fotovoltaik	Nilai
Maximum power at at STC (Pmp)	250 W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	30 V
Optimum Operating Current (Imp)	8,34 A
Open circuit voltage (Voc)	36,8 V
Short Circuit Current (Isc)	9 A
Nominal Operating cell temperature	$45 \pm 2^{\circ}\text{C}$
Temperature coefficient of Pm (%)	-0,47/ $^{\circ}\text{C}$

3.3.2 Spesifikasi Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan untuk melakukan pengambilan data primer antara lain : *phyranometer*, *digital thermometer*, *anemmmometer*, Adapun spesifikasi dari masing-masing alat ukur adalah sebagai berikut :

3.3.2.1 *Phyranometer*

Phyranometer merupakan alat ukur intensitas radiasi matahari dengan satuan daya persatuan luas (W/m^2). Adapun jenis *phyrano* yang digunakan yaitu Lutron SPM-11165D. Berikut gambar dan tabel spesifikasi :



Gambar 3.3 Phyranometer

Tabel 3.2 Spesifikasi Pyranometer

No	Keterangan	Spesifikasi
1	<i>Spectral response</i>	400-1100 nm
2	<i>Measuring unit</i>	<i>Solar power</i> W/m ² , Btu/(ft ² .h)
		<i>Transmission</i> : %
		<i>Solar power integration</i> : Wh/m ² , Btu/(ft ²)
3	<i>Solar power range/ solar power resolution</i>	<i>Range</i> 2000 W/m ² , 634 Btu/(ft ² .h)
		0.1 W/m ² <1000 W/m ²
		1 W/m ² ≥1000 W/m ²
		0.1 Btu/(ft ² .h) <317 Btu/(ft ² .h) 1 Btu/(ft ² .h) ≥317 Btu/(ft ² .h)
4	<i>Solar power accuracy</i>	±10 W/m ² typically ± 3 Btu/(ft ² .h) typically, atau ± 5% pembacaan
5	<i>Operating temperature</i>	0 – 50 °C
6	<i>Weight</i>	346 g
7	<i>Dimension</i>	<i>Main instrument</i> : 182 x 73 x 47.5 mm
		<i>Sensor probe</i> : 38mm DIA x 25 mm

3.3.2.2 Anemometer

Anemometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Pada pengambilan data kali ini alat yang digunakan yaitu CONSTANT AN15 dengan satuan kecepatan angin yang digunakan yaitu m/s. Adapun spesifikasi dari anemometer yang digunakan adalah sebagai berikut:



© Bhinneka.Com

Gambar 3.1 Anemometer**Tabel 3.3** Spesifikasi Anemometer

No	Keterangan	Spesifikasi		
	<i>Air velocity</i>	<i>Range</i>	<i>Resolution</i>	<i>Accuracy</i>
	m/s (meters per sec)	1,1 – 30 m/s	0.01 m/s	$\pm(3\% + 0.0 \text{ m/s})$
	kph (km per hour)	0.8 -108 km/h	0.1 km/h	$\pm (3\% + 1 \text{ km/h})$
	fpm (feet per minute)	80 – 5900 ft/min	1 ft/min	$\pm (3\% + 40 \text{ ft/m})$
	mph (miles per hour)	0.9-67 mph	0.1 mph	$\pm (3\% + 0.4\text{mph})$
	knt (knots)	0.8-58 knots	0.1 knots	$\pm (3\% + 0.4 \text{ knots})$

Tabel 3.3 Lanjutan

2	<i>Operating temperature</i>	0 - 50°C
3	<i>Operating humidity</i>	<80%
4	<i>Power</i>	9V battery
5	<i>Size</i>	165 x 54 x 34 mm
6	<i>Weight</i>	±139g

3.4 Penetapan Variabel Penelitian

Pada penetapan variabel ini yaitu memilih variable *input* serta output yang akan digunakan pada proses pengambilan data. Adapun untuk variabel yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.4 Variabel yang akan diambil

Variabel <i>Input</i>	Satuan	Variabel <i>Output</i>	satuan
Radiasi Matahari	Watt/m ²	Arus keluaran PV	A (Ampere)
Suhu PV	°C	Tegangan keluaran PV	V (Volt)
Kecepatan Angin	m/s ²		

3.5 Pengambilan Data

Pada bagian ini yaitu mengumpulkan data pengukuran yang dilakukan secara *real time* dengan menggunakan Poly Crystalline Solar Module untuk diambil data *output* PV berupa arus dan tegangan, serta dilakukan juga pengambilan data *input* berupa intensitas radiasi matahari, temperatur PV dan kecepatan angin. Pengukuran dilakukan dengan cara langsung menggunakan alat ukur yaitu pyranometer untuk intensitas matahari, termometer infrared untuk temperatur dan anemometer untuk kecepatan angin. Adapun informasi pengambilan data adalah sebagai berikut :

Tabel 3.5 Informasi Pengambilan Data

Nama Tempat	lantai 3 Gedung S2 Teknik Fisika ITS
Posisi Lintang	7,3°LS
Posisi Bujur	112,8°BT
Ketinggian dari permukaan laut	7 meter atau 23ft
Waktu dan jam	17 April 2018, jam 06.00-17.00
Kondisi	Terbuka dan tidak terhalang dinding

Tempat tersebut dipilih karena memiliki permukaan yang bidang dan tidak banyak benda tinggi yang menghalangi, seperti pepohonan dan bangunan bertingkat sehingga tidak menghalangi Pyranometer dalam mengukur radiasi matahari. Selain itu, diperlukan ketinggian yang dirasa cukup agar angin tidak terhalang oleh bangunan lain. Alat ukur yang digunakan untuk melakukan pengambilan data primer antara lain : *pyranometer*, *digital thermometer*, anemometer,

3.6 Pengolahan data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data yang di dapatkan melalui pengambilan data secara langsung lantai 3 Gedung S2 Teknik Fisika ITS pada tanggal 17 April 2018 pada jam 06.00 – 16.30. Data yang digunakan berupa data radiasi matahari (W/m²), temperatur PV (°C), kecepatan angin (m/s), dan Arus serta tegangan keluaran dari PV. Berikut ini akan ditampilkan contoh data pada excel yang telah dilakukan rata – rata pengambilan waktu yang akan diolah pada penelitian tugas akhir ini dan untuk data lengkapnya akan ditunjukkan pada Lampiran A.

Tabel 3.6 Data rata-rata Pengukuran pada Excel

No	pukul	Tegangan (V)	arus (A)	iradiasi	temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s ²)
1	6:00	2,08	0,30	34,9	28	0
2	6:30	3,58	0,51	150,5	30	0,2
3	7:00	9,45	0,54	198,17	31,4	0,2
4	7:30	8,42	0,54	268,73	35,6	3,7
5	8:00	24,88	0,55	404,7	36,53	1,2
6	8:30	30,05	0,557	337,93	37,07	0
7	9:00	30,16	0,565	998,3	46,3	1,5
8	9:30	30,21	0,537	930	48,2	1,8
9	10:00	29,91	0,513	1315,3	56,4	0
10	10:30	30,09	0,446	1080,25	54,45	0
11	11:00	30,06	0,540	1127,7	47,95	1,7
12	11:30	30,18	0,449	259,02	38,35	2
13	12:00	29,89	0,512	352,7	39,35	4,2
14	12:30	30,01	0,534	828,15	50,55	4
15	13:00	29,92	0,541	448,25	45,75	1,8
16	13:30	30,14	0,495	577,45	45,1	2,1
17	14:00	30,09	0,456	315	42,95	2,3
18	14:30	29,85	0,510	200,97	42,4	1,9
19	15:00	30,25	0,454	95,4	29,8	2,5
20	15:30	30,16	0,524	67,5	29,6	2,8
21	16:00	30,24	0,465	34,9	28,4	2,3
22	16:30	29,86	0,498	32,7	28,2	1,5
23	17:00	29,87	0,566	32,3	28,2	0,5
24	17:30	29,86	0,533	31,6	27,2	0,2

• Screening Data

Pada tahap pengolahan data yang pertama yaitu screening data hal ini dilakukan untuk menyiapkan data yang akan diolah. Tujuannya agar pada saat pengolahan data tidak ada data yang tidak lengkap dan data yang memiliki perbedaan karakteristik dengan data yang lain (outlier).

• Normalisasi Data

Data yang akan diinputkan pada *Fuzzy* sebaiknya dinormalisasi, sehingga mempunyai nilai dengan *range* tertentu. Hal ini diperlukan karena fungsi aktivasi yang digunakan akan menghasilkan *output* dengan *range* data. Pada tugas akhir ini data *training* dinormalisasi, sehingga mempunyai range nilai. Berikut merupakan rumus yang digunakan pada proses normalisasi data.

$$X = (X_p - \min X_p) \times (1 - 0) / (\max X_p - \min X_p) \quad (3.1)$$

Tabel 3.7 Data Normalisasi Pengukuran

No	pukul	Tegangan (V)	arus (A)	iradiasi	temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)
1	6:00	0,00	0,00	0,03	0,03	0
2	6:30	0,02	0,02	0,04	0,01	0
3	7:00	0,03	0,03	0,03	0,02	0
4	7:30	0,03	0,03	0,05	0,01	0
5	8:00	0,04	0,04	0,03	0,05	0
6	8:30	0,06	0,05	0,05	0,06	0
7	9:00	0,07	0,06	0,10	0,04	0,05
8	9:30	0,06	0,06	0,07	0,04	0,06
9	10:00	0,09	0,08	0,10	0,04	0,06
10	10:30	0,06	0,05	0,09	0,02	0,08
11	11:00	0,09	0,09	0,09	0	0,05
12	11:30	0,08	0,08	0,07	0,03	0,09
13	12:00	0,1	0,09	0,16	0,01	0,08

Tabel 3.7 Lanjutan

14	12:30	0,07	0,07	0,10	0,02	0,09
15	13:00	0,12	0,11	0,19	0,01	0,07
16	13:30	0,1	0,10	0,14	0,05	0,11
17	14:00	0,16	0,16	0,44	0,06	0,1
18	14:30	0,12	0,11	0,03	0,08	0,16
19	15:00	0,16	0,16	0,05	0,07	0,11
20	15:30	0,14	0,13	0,05	0,09	0,16
21	16:00	0,15	0,14	0,06	0,1	0,13
22	16:30	0,04	0,03	0,04	0,09	0,14
23	17:00	0,04	0,03	0,03	0,1	0,5
24	17:30	0,01	0,01	0,04	0,1	0,2

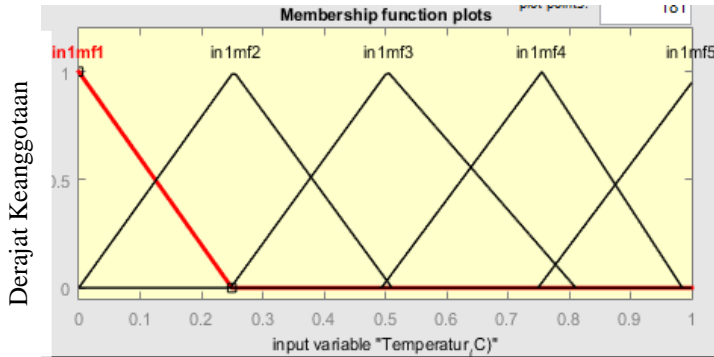
- **Pembagian Data**

Pembagian data dilakukan untuk membagi antara data *training* dengan data *cheking*. Proses *training* digunakan untuk melatih data yang akan digunakan untuk membuat model dengan *Fuzzy*, sedangkan *cheking* digunakan untuk mengevaluasi kemampuan *Fuzzy*. Total data yang digunakan sebanyak 24 data untuk setiap parameternya. Pada proses pembagian data sebagai masukan pada *Fuzzy* ini akan dikelompokkan menjadi 4 percobaan dengan bervariasi pasangan data *input* dan *output* untuk kemudian dilakukan simulasi menggunakan matlab.

3.7 Perancangan Model Fuzzy - BFO

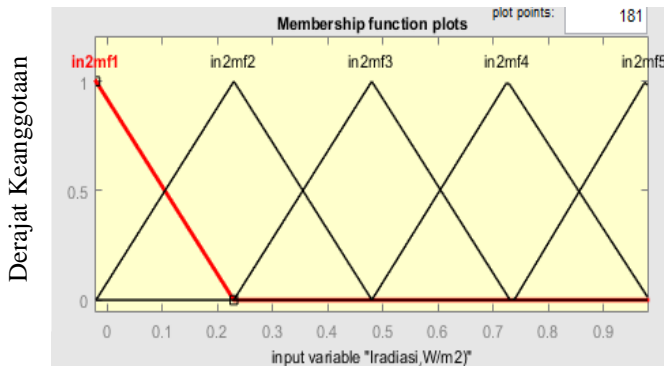
Proses perancangan Fuzzy dan FuzzyBFO diperlukan untuk menghasilkan *membership function* dan juga *rule based* yang akan digunakan untuk proses pemodelan. Untuk mendapatkan hasil pemodelan yang baik diperlukan jenis *membership function* yang tepat. Dalam penelitian ini digunakan jenis *membership function trimf* dengan jumlah *membership fuction* 5. *Membership function* yang digunakan adalah jenis *trimf* karena dinilai paling optimal dibandingkan jenis *membership function* yang lainnya yaitu *trap*, *gbell* dan *gauss*. Adapun *membership function* yang diperoleh dari

hasil training untuk keempat variabel *input* dengan ketentuan untuk masing-masing variabel *input* adalah sebagai berikut :

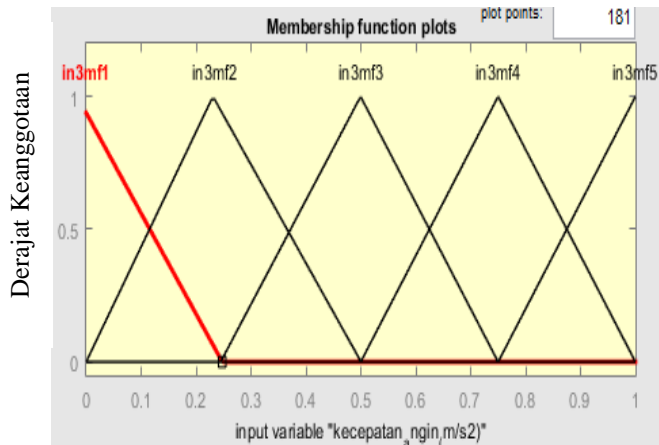


Gambar 3.6 Kurva Trimf untuk Variabel Temperature

Pada gambar 3.6 Merupakan gambar kurva trimf 5 *membership function* dengan variabel *input error temperature*. Gambar 3.7 kurva trimf 5 *membership function* dengan variabel *input error iradiasi*



Gambar 3.7 Kurva Trimf untuk Variabel iradiasi



Gambar 3.8 Kurva Trimf untuk Variabel Kecepatan Angin

Untuk jumlah *membership functions* 5, hasil dari data *training* menghasilkan *rule based* untuk pasangan *input output* yang akan digunakan untuk *testing* dengan jumlah *rule based* 25 untuk 2 variasi variabel *input*, dan 125 untuk 3 variabel variasi *input*.

3.7.1 Menentukan jumlah *epoch* (iterasi)

Epoch atau iterasi digunakan untuk memperoleh *error* yang paling diinginkan, idealnya makin besar iterasi maka *error* yang diperoleh makin kecil. *Epoch* atau iterasi yang digunakan pada optimisasi BFO (*Bacterial Foraging Optimization*) yaitu dengan 100 iterasi untuk mendapatkan hasil optimisasi yang terbaik.

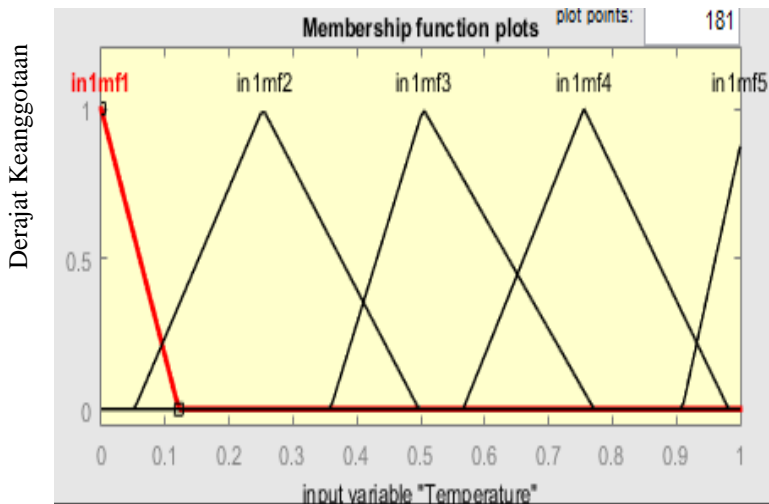
3.7.2 Menganalisa *output* dari pemodelan

Setelah mendapatkan *output* estimasi yang diperoleh dari MATLAB dengan *command* "evalfis" selanjutnya dilakukan estimasi dengan Microsoft Excel untuk mendapatkan nilai *error*. Adapun jenis perhitungan yang dilakukan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Square Error* (MSE). Adapun rumus perhitungan untuk menentukan RMSE adalah sebagai berikut :

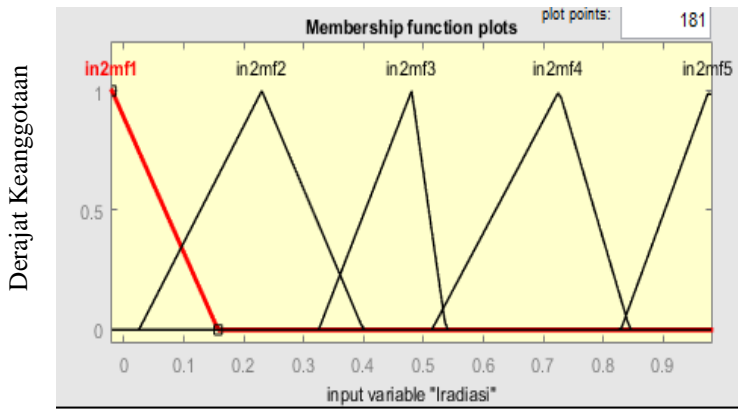
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y_t - t_\tau)^2} \quad (3.2)$$

3.8 Perancangan Model FuzzyBFO (*Bacterial Foraging Optimization*)

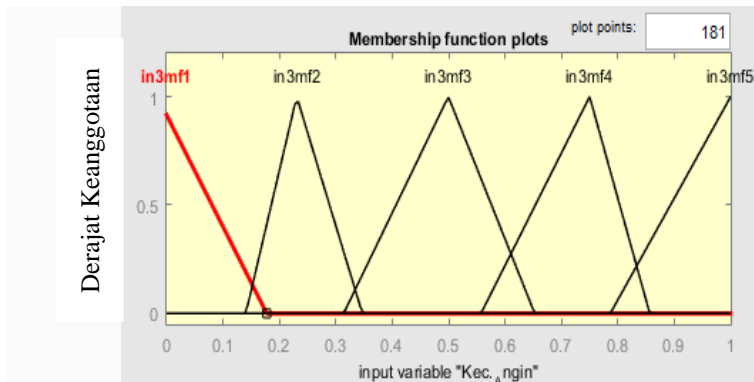
Hasil yang telah didapatkan dari metode *Fuzzy* kemudian dioptimalkan untuk mendapatkan hasil yang lebih optimum dengan metode BFO (*Bacterial Foraging Optimization*), optimisasi yang telah dilakukan dan didapatkan nilai – nilai optimasi yang kemudian dimasukan pada masing – masing batas pada *input* yang telah ditetapkan yaitu temperatur, iradiasi dan kecepatan angin. Adapun *membership function* FuzzyBFO seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.10 Kurva Trimf Fuzzy BFO untuk Variabel Temperature



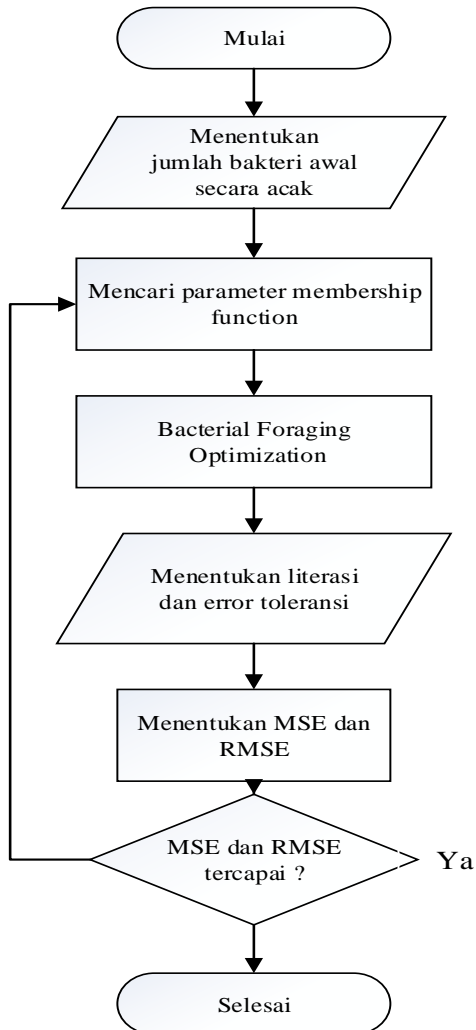
Gambar 3.11 Kurva Trimf Fuzzy BFO untuk Variabel Iradiasi



Gambar 3.12 Kurva Trimf Fuzzy BFO untuk Variabel Kecepatan Angin

Pada gambar 3.11 dan gambar 3.12 Merupakan gambar kurva trimf 5 *membership function* dengan variabel *input error* masing masing yaitu iradiasi dan kecepatan angin yang telah dimasukan nilai optimasi BFO (*Bacterial Foraging Optimization*) pada batas *input membership function* pada setiap batas *input*.

Adapun langkah dari Optimasi yang akan dilakukan dijelaskan pada gambar 3.13 berikut :



Gambar 3.13 Flowchart Metode Fuzzy BFO

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil simulasi untuk membuat model PV Panel *Combined Solar Tracker* dengan menggunakan pendekatan pasangan data *input* dan output pada PV Poly Crystalline Solar Module *passive* dan *active* menggunakan metode Fuzzy – *BFO* (*Bacterial Foraging Optimization*). Pengujian kali ini hasil simulasi dengan bantuan software MATLAB dan data yang berasal dari pengambilan secara langsung melalui eksperimen. Analisa dilakukan antara simulasi dan pengujian langsung dengan memiliki hasil yang konvergen dan error yang kecil.

Pada penelitian ini dilakukan pengampilan data pada PV panel *passive* dan *active* dengan pengambilan data pengukuran menggunakan alat ukur *pyranometer*, anemometer dan termometer. Pada penelitian ini dilakukan 4 Percobaan dengan memvariasikan pasangan data *input* dan *output* untuk kemudian dilakukan simulasi menggunakan MATLAB. Dengan menggunakan *membership function* yang berbeda yaitu 3 *membership function*, 5 *membership function* dan 7 *membership function*. Dengan melakukan pengambilan Data Pada PV *Solar Tracker passive* dan *active*. Percobaan pertama (P1), pasangan data *input* yang digunakan yaitu temperature PV dan iradiasi, dengan output berupa tegangan yang dihasilkan keluaran PV. Percobaan ke 2 (P2) pasangan data *input* yang digunakan yaitu temperature PV dan iradiasi, dengan output berupa arus listrik yang dihasilkan PV. Pada percobaan ke 3 (P3), pasangan data *input* yang digunakan yaitu temperatur PV, iradiasi, dan kecepatan angin dengan output berupa tegangan yang dihasilkan keluaran PV, dan pada percobaan ke 4 pasangan data *input* yang digunakan yaitu temperature PV, iradiasi, dan kecepatan PV dengan output berupa arus listrik yang dihasilkan keluaran PV. Adapun skenario percobaan variasi dengan 3,5 dan 7 *membersip function* dengan variabel *input* yang digunakan untuk menentukan arus dan tegangan dari data pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Skenario Percobaan Variasi *Input*

Percobaan	Variasi data <i>Input</i>	Output
P1	Temperatur PV dan iradiasi	Tegangan
P2	Temperatur PV dan iradiasi	Arus
P3	Temperatur PV , iradiasi dan kecepatan angin	Tegangan
P4	Temperatur PV , iradiasi dan kecepatan angin	Arus

4.1 Hasil Pemodelan PV Panel Pada *Solar Tracker Passive*

Pada hasil pemodelan PV Panel *Solar Tracker Passive* ini menjelaskan nilai parameter yang didapat dari data hasil pengukuran dengan alat ukur data yang diperoleh terdiri dari Temperatur, iradiasi dan kecepatan angin dengan jumlah 240 pasang data. Adapun karakteristik Data pengukuran pada PV Panel *Solar Tracker Passive* adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Karakteristik Data Pengukuran PV Panel *Solar Tracker passive*

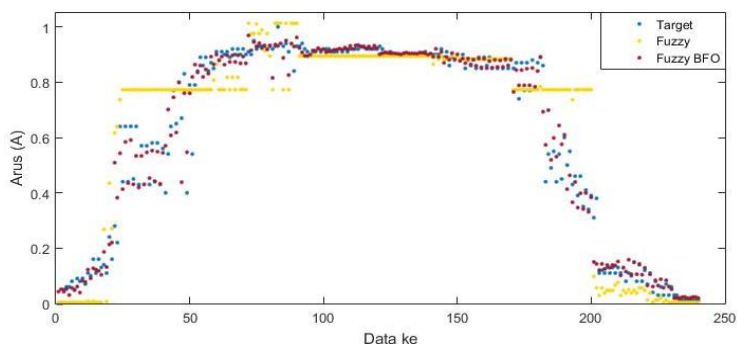
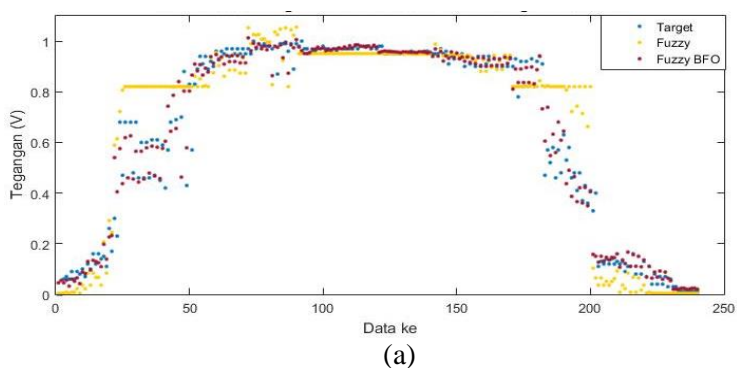
	Tegangan (V)	Arus (A)	Temperatur (°C)	Iradiasi (W/m ²)	Kec. Angin (m/s)
Range	0-36,74	0-5,54	26,6-63,6	3,1-923,2	0-6,7
Span	36,72	5,54	37	920,1	6,7
Mean	33,05	4,73	32,30	308,87	0
Std. Dev	13,49	1,93	10,76	308,87	1,13
Max	36,74	5,54	63,6	923,2	6,7
Min	0	0	26,6	3,1	0

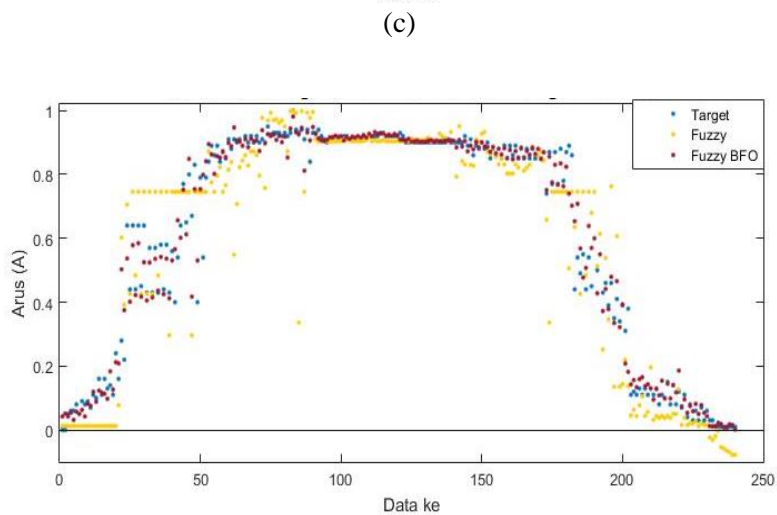
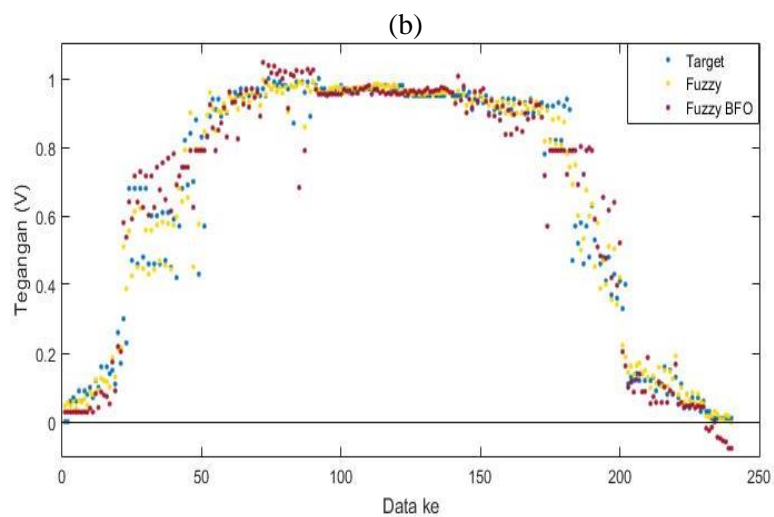
Berdasarkan hasil dari komputasi yang dilakukan menggunakan *software* MATLAB dengan menggunakan metode

Fuzzy Sugeno, yang dilakukan pada PV Panel *Combined Solar Tracker passive*, dilakukan variasi 3 *membership function*, 5 *membership function* dan 7 *membership function*. Berikut merupakan hasil dari simulasi percobaan variasi *input* P1, P2, P3 dan P4 pada Fuzzy 3 *membership function*, 5 *membership function* dan 7 *membership function* pada subbab 4.2.1 sampai 4.2.3

4.1.1 Hasil Validasi 3 Membership Function Passive

Pada 3 *membership function* Fuzzy dan BFO dilakukan dengan 4 variasi *input* yaitu P1, P2, P3 dan P4. Berikut merupakan hasil validasi yang dilakukan pada *software* MatLab yang ditampilkan pada grafik dengan membandingkan nilai hasil pengukuran sebagai target, nilai Fuzzy dan FuzzyBFO:





(d)

Gambar 4.1 Hasil perbandingan Model *Passive 3 membership function* P1, P2, P3 dan P4 Pada Fuzzy dan FuzzyBFO dengan data pengukuran

Dari gambar 4.1 diperoleh hasil *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Square Error (MSE)* untuk metode Fuzzy dan BFO hasil perbandingan yang telah dilakukan pada 3 *membership function Passive* sebagai berikut :

Tabel 4.3 Analisis RMSE dan MSE Percobaan 3 *membership function Passive*

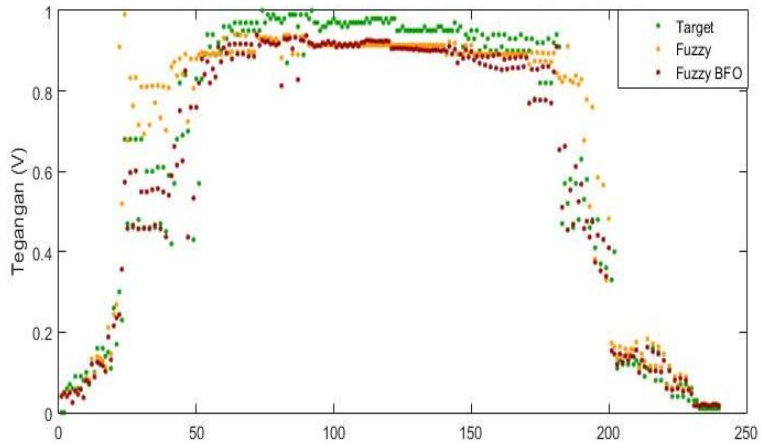
P	Struktur	RMSE		MSE	
		Fuzzy	Fuzzy BFO	Fuzzy	Fuzzy BFO
P1	3, Trimf, 100	0,05519	0,03568	0,00303	0,00127
P2	3, Trimf, 100	0,05216	0,03507	0,00270	0,00122
P3	3, Trimf, 100	0,05382	0,03960	0,00289	0,00156
P4	3, Trimf, 100	0,05157	0,03428	0,00265	0,00175

Dilihat dari grafik yang telah disajikan didapatkan nilai RMSE dan MSE untuk variasi *input* P1, P2, P3 dan P4 dari Gambar 4.1 hasil pemodelan dengan menggunakan Fuzzy memiliki hasil yang sangat jauh dari target jika dibandingkan dengan hasil pemodelan menggunakan FuzzyBFO. Metode BFO memberikan hasil yang lebih optimum dengan persebaran yang lebih merata. Berdasarkan tabel 4.3 dapat dilihat terjadi penurunan RMSE dan MSE pada metode BFO jika dibandingkan dengan metode Fuzzy. RMSE dan MSE terkecil yaitu 0,03428 dan 0,00175 untuk pemodelan PV Panel *Solar Tracker passive* dengan 3 *membership function* variasi *input* P4. Sehingga hasil pemodelan PV Panel *Solar Tracker passive* dengan 3 *membership function* menggunakan P4 dengan metode FuzzyBFO

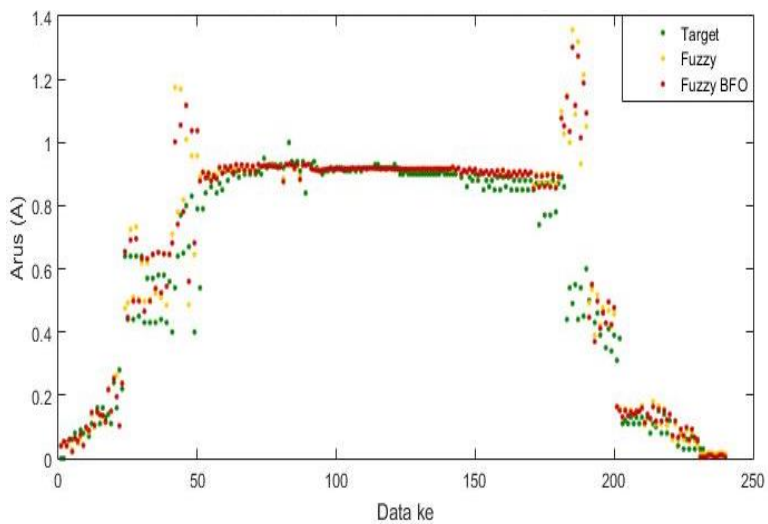
4.1.2 Hasil Validasi 5 *Membership function Passive*

Pada validasi 5 *membership function passive* dengan variasi *input* data hasil pengukuran, Fuzzy dan FuzzyBFO yang telah

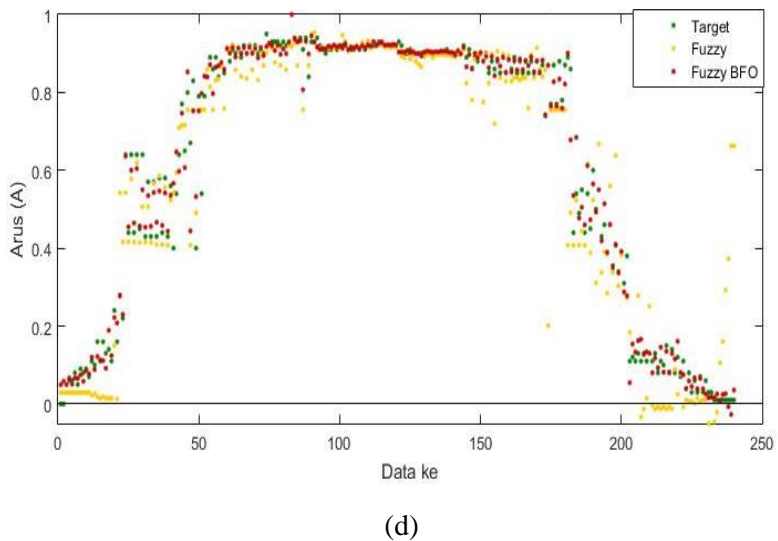
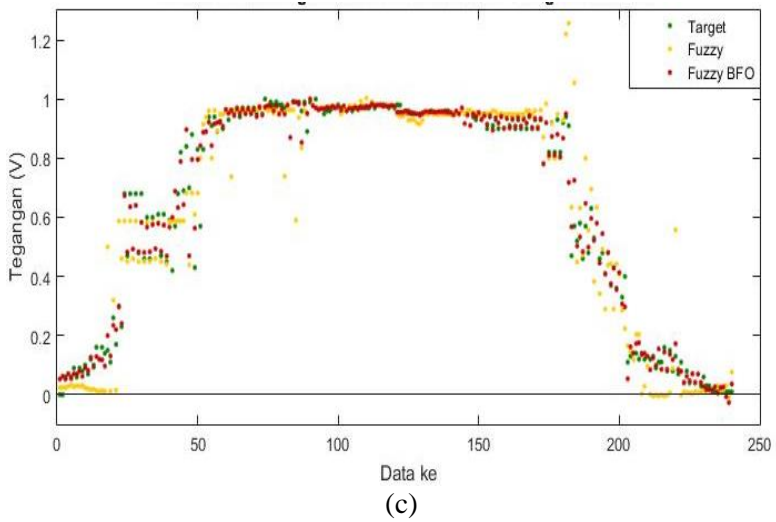
dilakukan didapatkan nilai *output* akan dibandingkan pada *software* MatLab sebagai berikut:



(a)



(b)



Gambar 4.2 Hasil perbandingan Model *Passive 5 membership function* P1,P2,P3 dan P4 Pada Fuzzy dan FuzzyBFO dengan data pengukuran

Pada gambar 4.2 diperoleh hasil *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Square Error (MSE)* untuk metode Fuzzy dan BFO, yaitu :

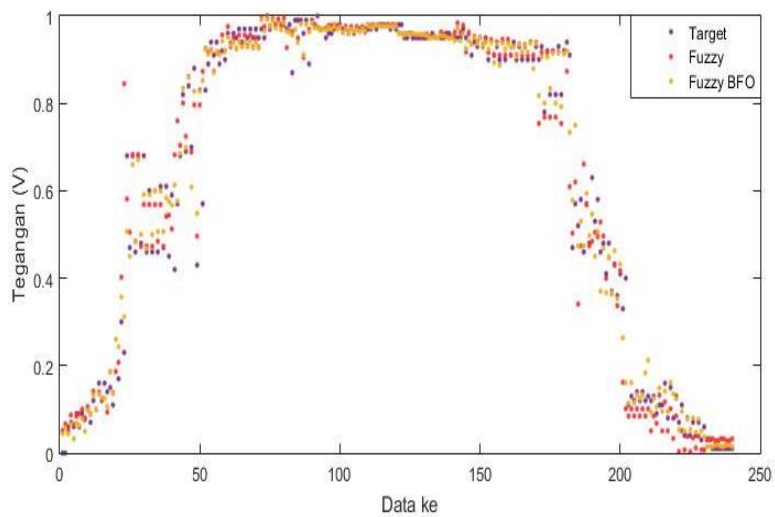
Tabel 4.4 Analisis RMSE dan MSE Percobaan 5 *membership function* Passive

P	Struktur	RMSE		MSE	
		Fuzzy	Fuzzy BFO	Fuzzy	Fuzzy BFO
P1	3, Trimf, 100	0,04945	0,01641	0,00244	0,00026
P2	3, Trimf, 100	0,04645	0,02545	0,00270	0,00064
P3	3, Trimf, 100	0,04146	0,03914	0,00215	0,00154
P4	3, Trimf, 100	0,03951	0,02663	0,00156	0,00070

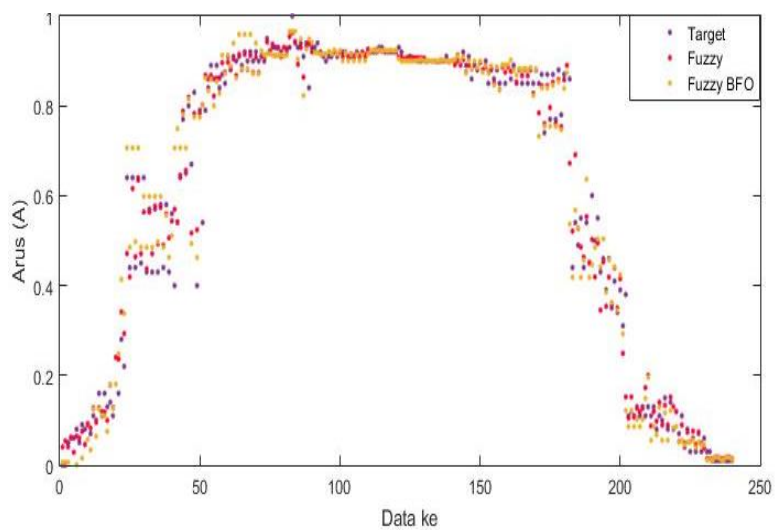
Tabel diatas merupakan hasil nilai yang didapatkan dari *output* Gambar 4.2 dimana dilakukan perbandingan hasil pengukuran sebagai target dengan nilai Fuzzy dan Fuzzy-BFO. Dapat dilihat nilai *output* hasil pemodelan yang didapatkan dengan menggunakan Fuzzy memiliki hasil masih jauh dari target nilai pengukuran jika dibandingkan dengan hasil pemodelan menggunakan Fuzzy-BFO. Metode BFO memberikan nilai hasil yang dengan persebaran yang lebih merata. Berdasarkan tabel 4.4 nilai RMSE dan MSE pada metode FuzzyBFO jika dibandingkan dengan metode Fuzzy. RMSE dan MSE terkecil yaitu 0,01641 dan 0,00026 untuk pemodelan PV Panel *Solar Tracker passive* dengan 5 *Membership Function* variasi input P1. Sehingga hasil pemodelan PV Panel *Solar Tracker passive* dengan 5 *Membership Function* menggunakan P1 dengan metode BFO.

4.1.3 Hasil Validasi 7 *Membership Function* Passive

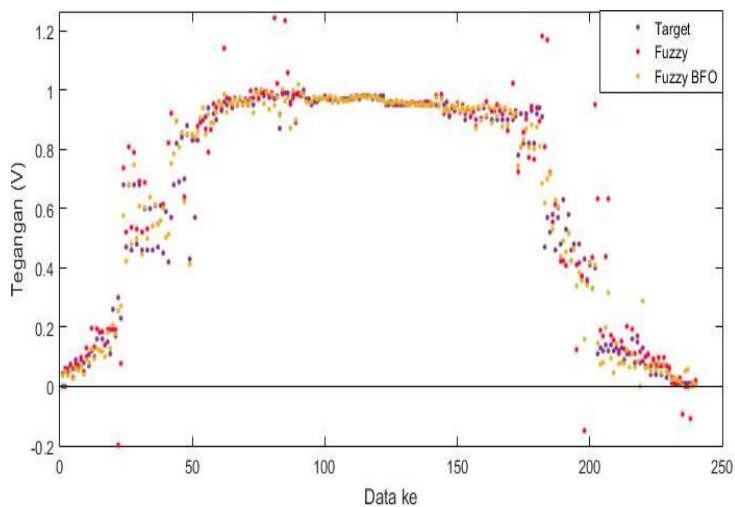
Hasil uji validasi pada 7 *membership function passive* pada *solar tracker passive* nilai hasil pengukuran, Fuzzy dan BFO, didapatkan nilai hasil perbandingan yang dilakukan pada *software* MATLAB yang ditunjukkan pada gambar 4.3 sebagai berikut :



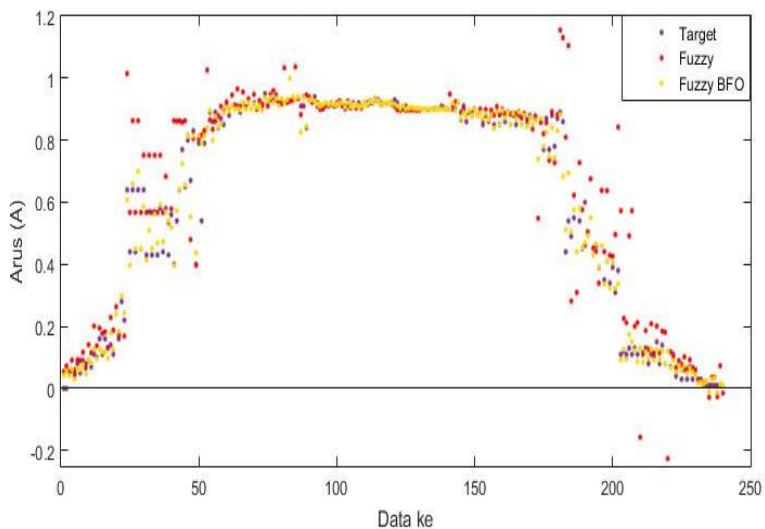
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.3 Hasil perbandingan Model *Passive 7 Membership Function* P1,P2,P3 dan P4 Pada Fuzzy dan FuzzyBFO dengan data pengukuran

Pada 7 *membership function Passive* gambar 4.3 diperoleh hasil *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Square Error (MSE)* untuk metode Fuzzy dan BFO, yaitu :

Tabel 4.5 Analisis RMSE dan MSE Percobaan 7 *Membership Function Passive*

P	Struktur	RMSE		MSE	
		Fuzzy	Fuzzy BFO	Fuzzy	Fuzzy BFO
P1	3, Trimf, 100	0,04503	0,01029	0,00202	0,00010
P2	3, Trimf, 100	0,04289	0,01152	0,00184	0,00013
P3	3, Trimf, 100	0,03404	0,01688	0,00115	0,00028
P4	3, Trimf, 100	0,03212	0,01010	0,00103	0,00010

Dari uji validasi 7 *membership function Passive* gambar 4.3 didapatkan hasil pemodelan dengan menggunakan metode BFO lebih mendekati target dibandingkan dengan menggunakan Fuzzy yang memiliki hasil yang sangat jauh dari target. Metode FuzzyBFO memberikan hasil yang lebih optimum dengan persebaran yang lebih merata. Pada tabel 4.5 nilai RMSE dan MSE pada metode FuzzyBFO lebih kecil jika dibandingkan dengan metode Fuzzy. RMSE dan MSE terkecil yaitu 0,01010 dan 0,000102 untuk pemodelan PV Panel Solar Tracker passive dengan 7 *Membersh Function* variasi input P4. Sehingga hasil pemodelan PV Panel Solar Tracker passive dengan 7 *Membership Function* menggunakan P4 dengan metode FuzzyBFO.

4.2 Hasil Pemodelan PV Panel Pada Solar Tracker Active

Pada hasil pemodelan PV Panel Solar Tracker Active menjelaskan nilai parameter yang didapat dari data hasil pengukuran dengan alat ukur data yang diperoleh terdiri dari Temperatur,

iradiasi dan kecepatan angin. Nilai karakteristik data pengukuran pada PV Panel *Combined Solar Tracker Active* yang didapatkan adalah sebagai berikut :

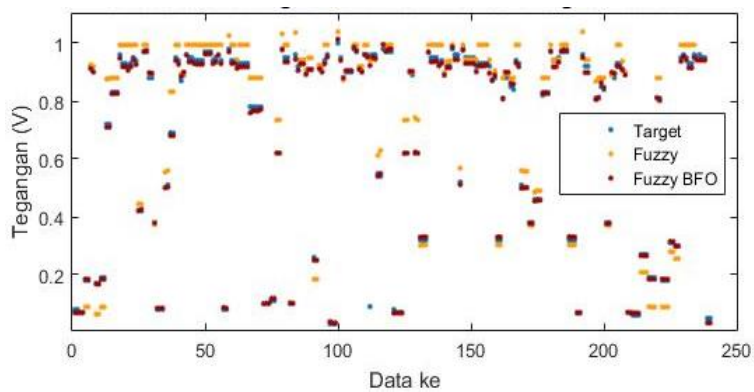
Tabel 4.6 Karakteristik Data Pengukuran PV Panel *Solar Tracker Active*

	Tegangan (V)	Arus (A)	Temperatur (°C)	Iradiasi (W/m ²)	Kec. Angin (m/s)
Range	1,39-40,94	0,20-5,85	22,6-38,6	21,8-1073	0,04-3,53
Span	39,55	5,65	16	1051,2	3,49
Mean	33,05	4,73	32,20	650,30	0,89
Std. Dev	13,63	1,95	32,20	332,50	0,57
Max	40,94	5,85	38,60	1073	3,53
Min	1,39	0,20	22,6	21,8	0,04

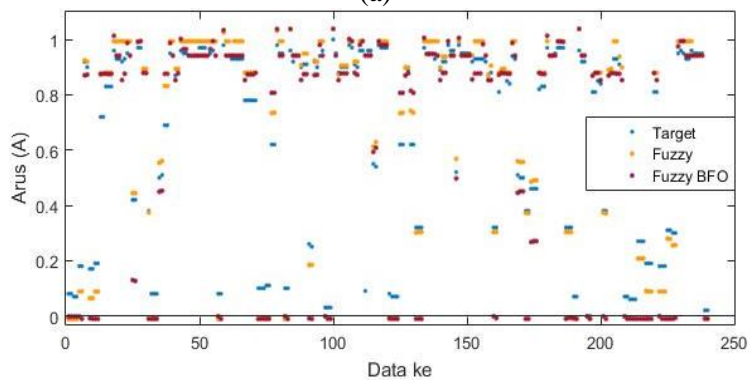
Dari hasil komputasi yang dilakukan menggunakan *software* MATLAB dengan menggunakan metode Fuzzy Sugeno, yang dilakukan pada PV Panel *Solar Tracker active*, dilakukan variasi 3 *membership function*, 5 *membership function* dan 7 *membership function*. Berikut merupakan hasil masing - masing dari simulasi percobaan variasi *input* P1, P2, P3 dan P4 pada 3 *membership function*, 5 *membership function* dan 7 *membership function* yang akan dibahas pada subbab 4.2.1 sampai 4.2.3

4.2.1 Hasil Validasi 3 *Membership Function Active*

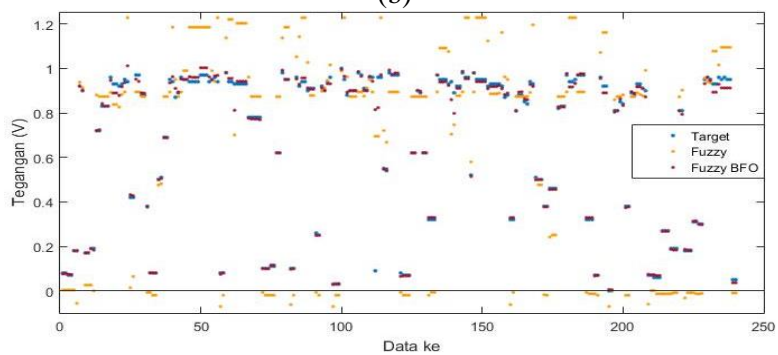
Hasil Validasi dengan 3 *membership function active* pada Fuzzy dan BFO dilakukan dengan 4 variasi *input* yaitu P1, P2, P3 dan P4. Gambar 4.4 merupakan hasil *output* model melalui evalfis yang dilakukan pada *software* MatLab sebagai berikut :



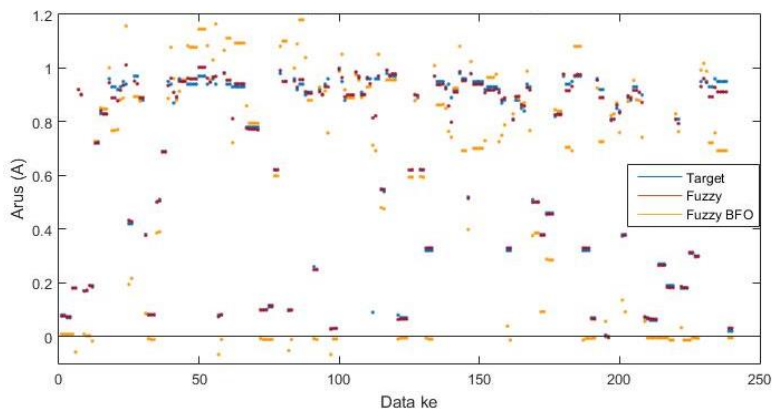
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.4 Hasil perbandingan Model 3 *Membership Function Active* P1,P2,P3 dan P4 Pada Fuzzy dan FuzzyBFO dengan data pengukuran

Dari gambar 4.4 diperoleh hasil *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Square Error (MSE)* untuk metode Fuzzy dan FuzzyBFO hasil perbandingan yang telah dilakukan pada 3 *membership function active* sebagai berikut :

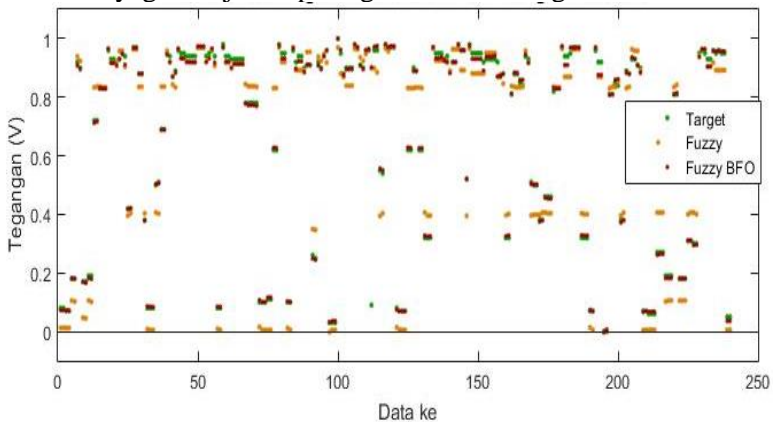
Tabel 4.7 Analisis RMSE dan MSE Percobaan 3 *Membership Function Active*

P	Struktur	RMSE		MSE	
		Fuzzy	Fuzzy BFO	Fuzzy	Fuzzy BFO
P1	3, Trimf, 100	0,05464	0,02212	0,00298	0,00048
P2	3, Trimf, 100	0,05463	0,02991	0,00298	0,00094
P3	3, Trimf, 100	0,05084	0,03722	0,00258	0,00013
P4	3, Trimf, 100	0,05080	0,03405	0,00258	0,00011

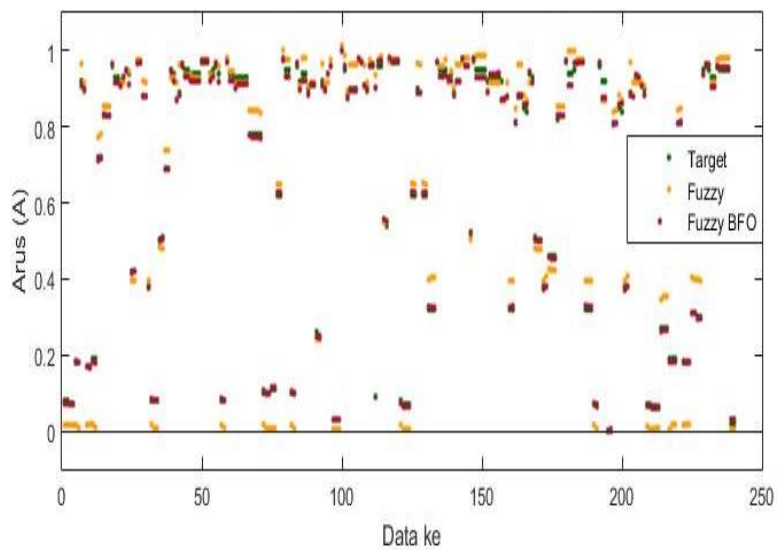
Dari tabel 4.7 diatas merupakan hasil nilai yang didapatkan dari *output* Gambar 4.4 dimana dilakukan perbandingan hasil pengukuran sebagai target dengan nilai Fuzzy dan FuzzyBFO. Dapat dilihat nilai *output* hasil pemodelan yang didapatkan dengan menggunakan Fuzzy memiliki hasil masih jauh dari target nilai pengukuran jika dibandingkan dengan hasil pemodelan menggunakan FuzzyBFO. Metode FuzzyBFO memberikan hasil yang lebih optimum dengan persebaran yang lebih merata. Berdasarkan tabel 4.7 dapat dilihat terjadi penurunan RMSE dan MSE pada metode BFO jika dibandingkan dengan metode Fuzzy. RMSE dan MSE terkecil yaitu 0,02212 dan 0,00048 untuk pemodelan PV Panel *Combined Solar Tracker active* dengan 3 *Membership Function* variasi *input* P1. Sehingga hasil pemodelan PV Panel *Solar Tracker active* dengan 3 *Membership Function* menggunakan P1 dengan metode BFO.

4.2.2 Hasil Validasi 5 *Membership Function Active*

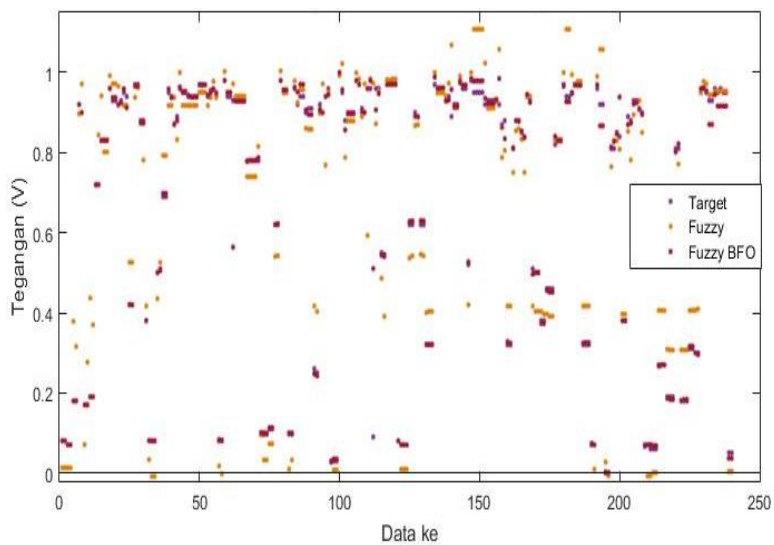
Hasil uji validasi pada *membership function active* pada *solar tracker passive* nilai hasil pengukuran, Fuzzy dan FuzzyBFO, didapatkan nilai hasil perbandingan yang dilakukan pada *software* MATLAB yang ditunjukkan pada gambar 4.5 sebagai berikut :



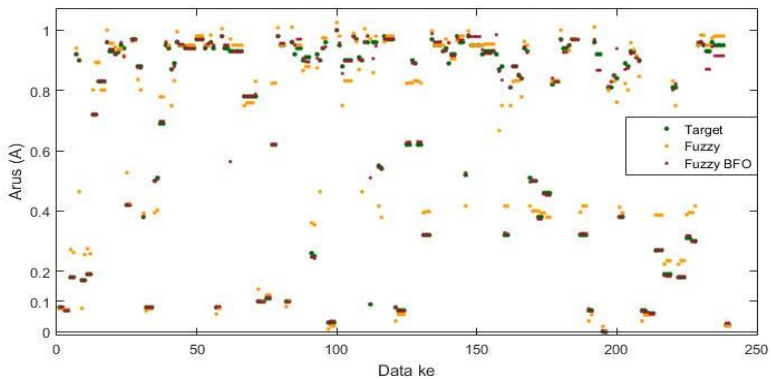
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.5 Hasil perbandingan Model 5 *Membership Function Active* P1,P2,P3 dan P4 Pada Fuzzy dan BFO dengan data pengukuran

Pada gambar 4.5 dengan 5 *membership Function* diperoleh hasil *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Square Error (MSE)* untuk metode Fuzzy dan FuzzyBFO, yaitu :

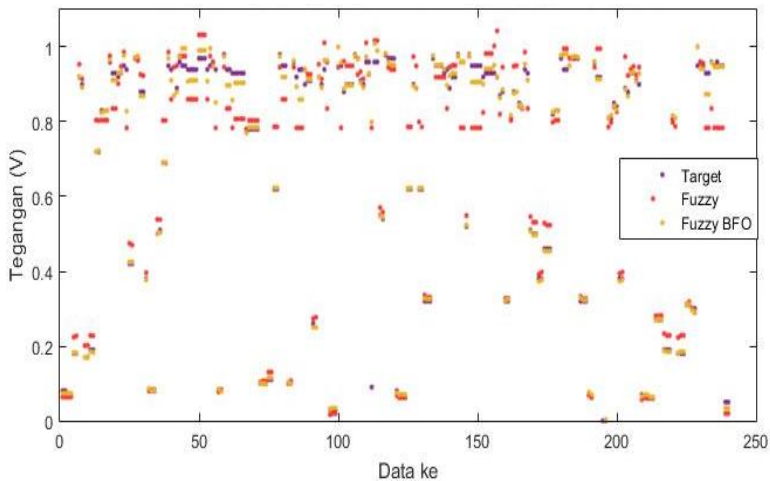
Tabel 4.8 Analisis RMSE dan MSE Percobaan 5 *Membership Function Active*

P	Struktur	RMSE		MSE	
		Fuzzy	Fuzzy BFO	Fuzzy	Fuzzy BFO
P1	3, Trimf, 100	0,05365	0,01592	0,00287	0,00025
P2	3, Trimf, 100	0,05365	0,01673	0,00287	0,00027
P3	3, Trimf, 100	0,03922	0,01392	0,00154	0,00019
P4	3, Trimf, 100	0,03917	0,01273	0,00153	0,00016

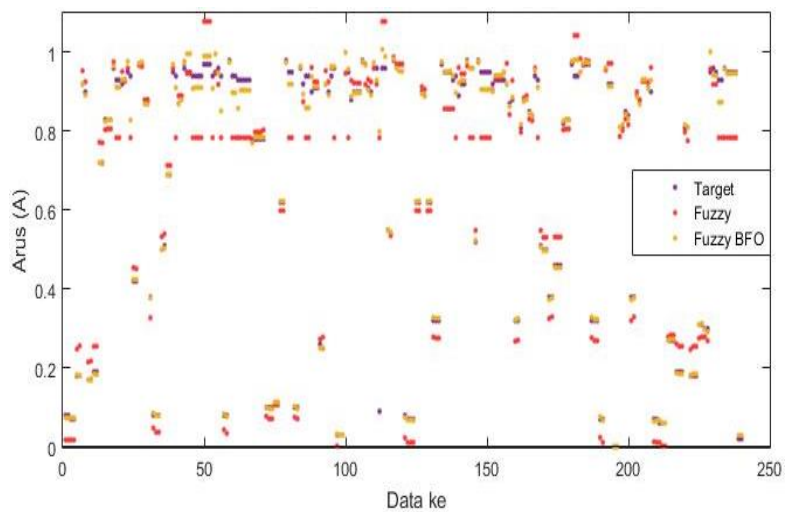
Dari uji validasi 5 *membership function active* pada gambar 4.3 didapatkan hasil pemodelan dengan menggunakan metode BFO lebih mendekati target dibandingkan dengan menggunakan Fuzzy memiliki hasil yang sangat jauh dari target. Metode FuzzyBFO memberikan hasil yang lebih optimum dengan persebaran yang lebih merata. Pada tabel 4.5 nilai RMSE dan MSE pada metode FuzzyBFO lebih kecil jika dibandingkan dengan metode Fuzzy. Berdasarkan tabel 4.7 RMSE dan MSE terkecil yaitu 0,01273 dan 0,00016 untuk pemodelan PV Panel Solar Tracker *active* dengan 5 *membership function* variasi input P4. Sehingga hasil pemodelan PV Panel Solar Tracker *active* dengan 3 *membership function* menggunakan P4 dengan metode BFO.

4.2.3 Hasil Validasi 7 Membership Function Active

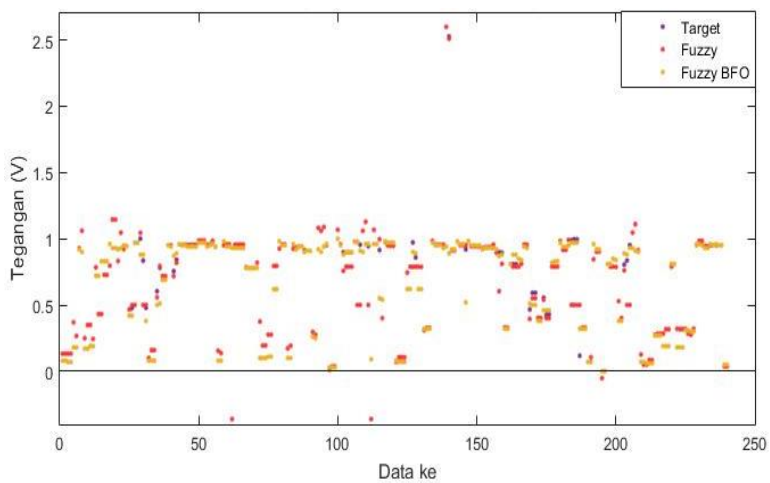
Hasil Validasi dari 7 *membership function* pada Fuzzy dan BFO dilakukan dengan 4 variasi *input* yaitu P1, P2, P3 dan P4. Berikut merupakan hasil perbandingan yang dilakukan pada *software* MatLab dari hasil *ouput* nilai pengukuran, Fuzzy dan BFO:



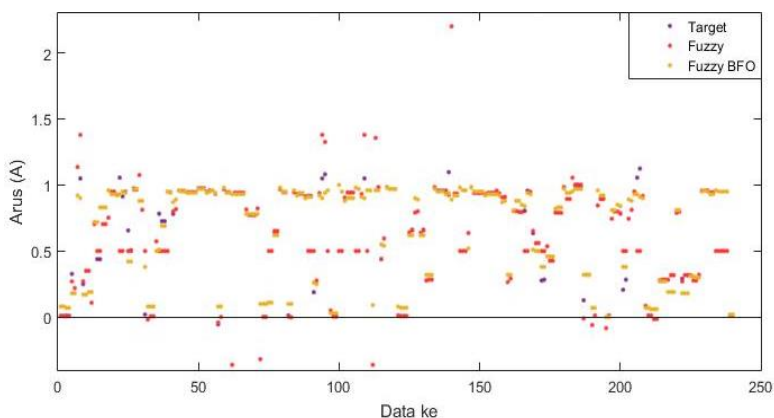
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.6 Hasil perbandingan Model *7 Membership Function Active* P1,P2,P3 dan Pada Fuzzy dan FuzzyBFO dengan data pengukuran

Dari gambar 4.6 diperoleh hasil *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Square Error (MSE)* untuk metode Fuzzy dan BFO hasil perbandingan yang telah dilakukan pada *7 membership function active* sebagai, yaitu :

Tabel 4.9 Analisis RMSE dan MSE Percobaan *7 Membership Function Active*

Pdan	Struktur	RMSE		MSE	
		Fuzzy	Fuzzy BFO	Fuzzy	Fuzzy BFO
P1	3, Trimf, 100	0,05014	0,01117	0,00251	0,000124
P2	3, Trimf, 100	0,05012	0,00897	0,00298	0,000080
P3	3, Trimf, 100	0,01119	0,00594	0,00012	0,000035
P4	3, Trimf, 100	0,00950	0,00204	0,00009	0,000004

Dilihat dari grafik yang telah disajikan didapatkan nilai RMSE dan MSE untuk variasi *input* P1, P2, P3 dan P4 dari Gambar 4.1 hasil pemodelan dengan menggunakan Fuzzy memiliki hasil yang

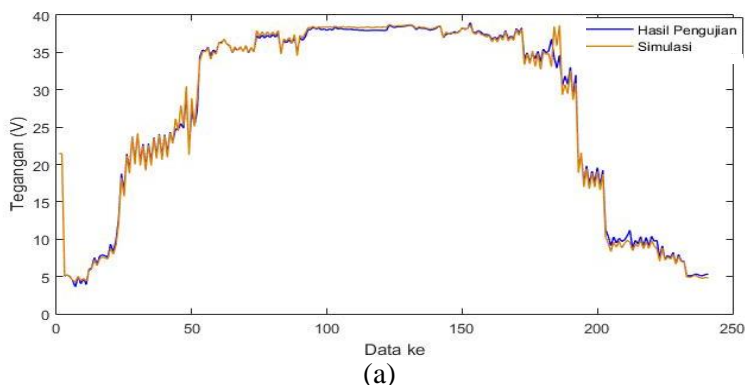
sangat jauh dari target jika dibandingkan dengan hasil pemodelan menggunakan BFO. Metode FuzzyBFO memberikan hasil yang lebih optimum dengan persebaran yang lebih merata. Berdasarkan tabel 4.8 RMSE dan MSE terkecil yaitu 0,00204 dan 0,000004 untuk pemodelan PV Panel *Solar Tracker active* dengan 7 *Membership Function* variasi input P4. Sehingga hasil pemodelan PV Panel *Solar Tracker active* dengan 7 *Membership Function* menggunakan P4 dengan metode FuzzyBFO.

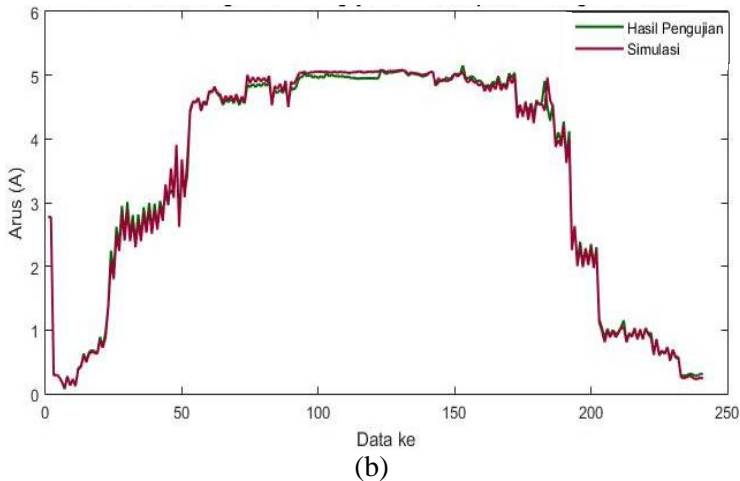
4.3 Hasil Perbandingan Simulasi Fuzzy dan BFO

Pada analisa berikut, dilakukan perbandingan hasil simulasi Fuzzy dan BFO dengan tujuan untuk membandingkan hasil output yaitu tegangan dan arus pada simulasi. Data yang digunakan yaitu data hasil pengukuran sebagai data pengujian dengan data hasil pemodelan yang telah dilakukan dengan variasi *input* dan *membership function*. Adapun hasil masing – masing pengujian dengan simulasi akan dibahas pad subbab 4.3.1 sampai 4.3.2

4.3.1 Hasil Simulasi 3 *Membership Function Passive, Active dan Combined*

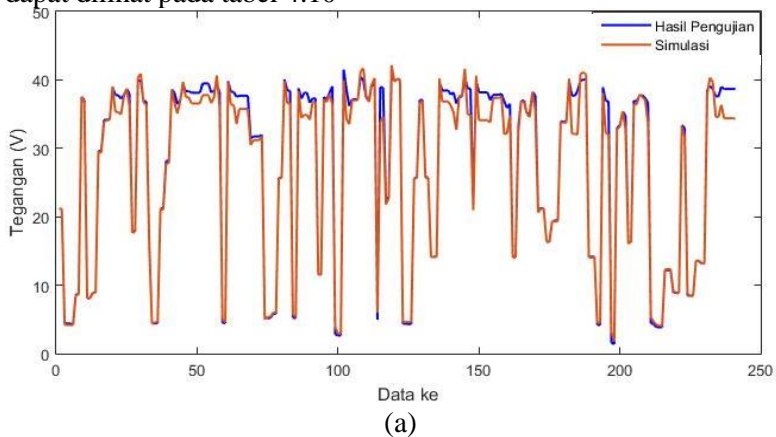
Pada pengujian pertama dengan 3 *membership function* dengan membandingkan nilai output yaitu tegangan dan arus yang telah didapat pada percobaan dilakukan pada P1, P2, P3 dan P4. Berikut merupakan hasil yang telah didapatkan :

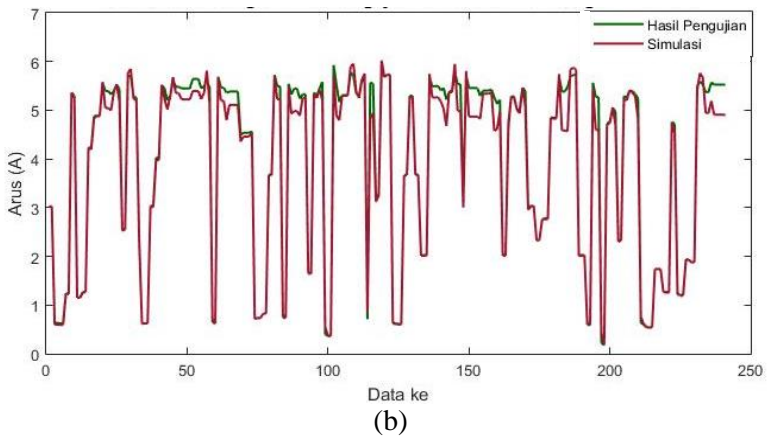




Gambar 4.7 Grafik Perbandingan nilai Tegangan dan Arus hasil simulasi pada PV Panel *Passive 3 Membership Function*

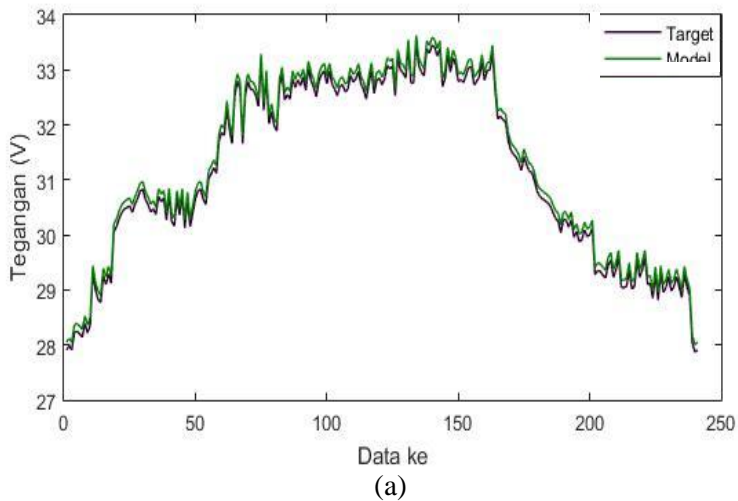
Pada Hasil Simulasi dengan menggunakan 3 *membership function* pada PV Panel *passive* dapat dilihat pada gambar 4.7 dengan output tegangan dan arus, nilai hasil simulasi hampir dapat mengikuti nilai dari hasil pengujian hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.10

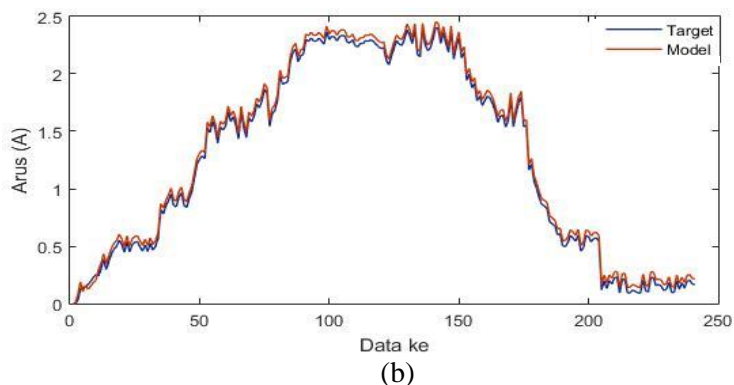




Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Nilai Tegangan dan Arus Hasil Pengujian Simulasi pada PV Panel *Active 3 Membership Function*

Dari gambar 4.8 merupakan grafik hasil pengujian PV Panel *Active 3 Membership Function* dengan output tegangan dan arus. Dari gambar tersebut didapat nilai simulasi hampir memiliki nilai sama dengan hasil pengujian yang dapat dilihat pada tabel 4.10





Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Nilai Tegangan dan Arus Hasil Pengujian Simulasi pada PV Panel *Combined 3 Membership Function*

Berdasarkan gambar 4.7 sampai gambar 4.9 hasil simulasi didapatkan *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Square Error* sebagai berikut :

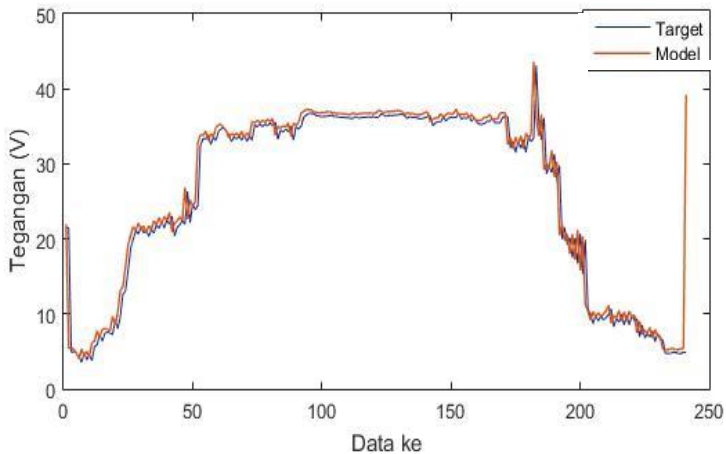
Tabel 4.10 Perbandingan RMSE dan MSE Hasil Uji Simulasi 3 *Membership function*

Output	RMSE		MSE	
	Hasil pengujian	Hasil Simulasi	Hasil pengujian	Hasil Simulasi
Tegangan <i>Passive</i>	0,06565	0,06263	0,00430	0,00392
Arus <i>Passive</i>	0,06731	0,06431	0,00450	0,00413
Tegangan <i>Active</i>	0,03423	0,03186	0,00117	0,00101
Arus <i>Active</i>	0,03175	0,03021	0,00100	0,00091
Tegangan <i>Combined</i>	0,01769	0,01723	0,000312	0,00029
Arus <i>Combined</i>	0,01745	0,01705	0,00030	0,00029

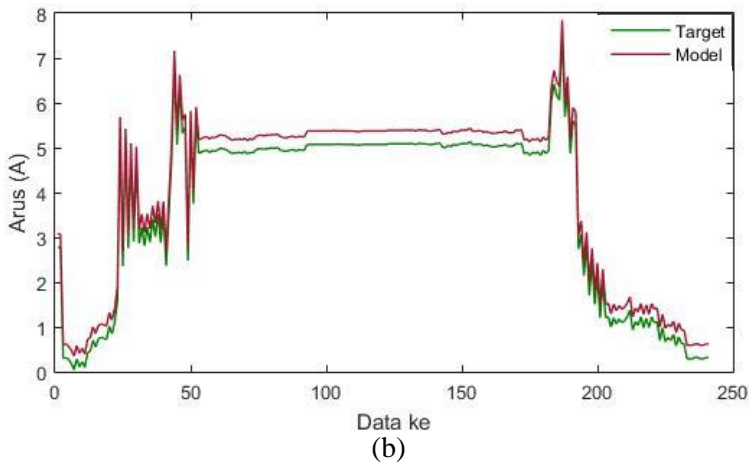
Pada grafik yang disajikan di Gambar 4.7 merupakan hasil simulasi PV Panel *Solar Tracker passive* dengan output tegangan dan arus, didapatkan nilai RMSE dan MSE yaitu 0,06263 dan 0,00392 pada output tegangan, 0,06431 dan 0,00413 pada output arus. Pada di Gambar 4.8 merupakan hasil simulasi PV Panel *Solar Tracker active* dengan output tegangan dan arus, didapatkan nilai RMSE dan MSE yaitu 0,03186 dan 0,00101 pada output tegangan dan 0,03021 dan 0,00091 pada output arus . Pada di Gambar 4.9 merupakan hasil simulasi PV Panel *Combined Solar Tracker* dengan output tegangan dan arus, didapatkan nilai RMSE dan MSE yaitu 0,01723 dan 0,00029 pada output tegangan dan 0,01705 dan 0,00029 pada output arus .

4.3.2 Hasil Simulasi 5 Membership Function Passive, Active dan Combined

Pada pengujian pertama dengan 5 *membership function* dengan membandingkan nilai output yaitu tegangan dan arus yang telah didapat pada percobaan dilakukan pada P1, P2, P3 dan P4. Berikut merupakan hasil yang telah didapatkan :

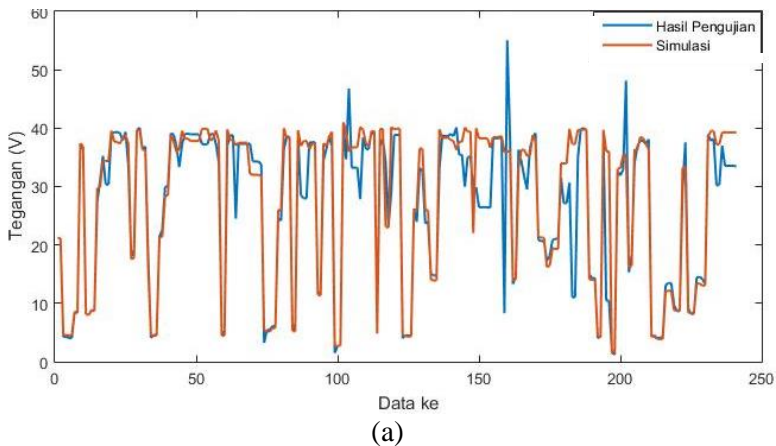


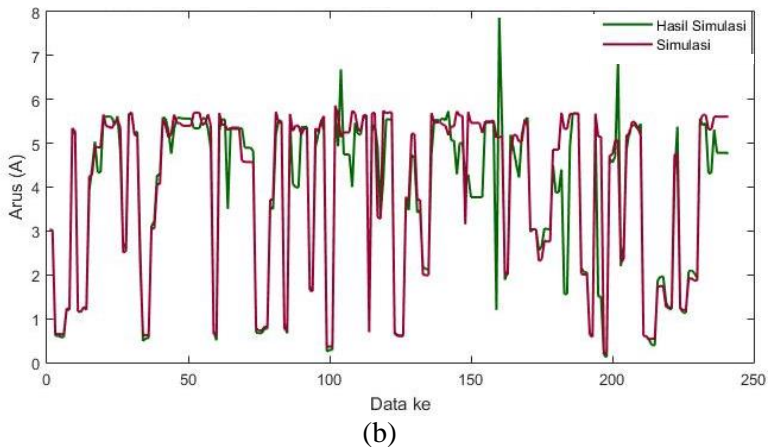
(a)



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Nilai Arus Hasil Pengujian Simulasi pada PV Panel *Passive 5 Membership function*

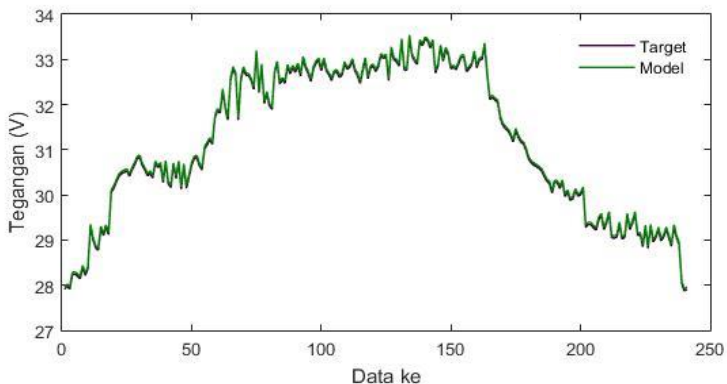
Dari gambar 4.10 merupakan grafik hasil pengujian PV Panel *passive 5 Membership Function* dengan output tegangan dan arus. Dari gambar tersebut didapat nilai simulasi hampir memiliki nilai sama dengan hasil pengujian yang dapat dilihat pada tabel 4.11

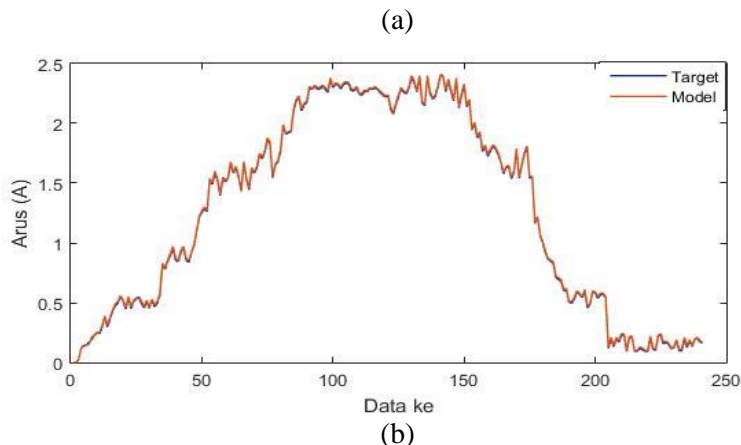




Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Nilai Tegangan dan Arus Hasil Pengujian Simulasi pada PV Panel *Active 5 Membership function*

Pada Hasil Simulasi dengan menggunakan *5 membership function* pada PV Panel *passive* dapat dilihat pada gambar 4.11 dengan output tegangan dan arus, nilai hasil simulasi hampir dapat mengikuti nilai dari hasil pengujian tetapi masih terdapat beberapa nilai yang tidak sama. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.11





Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Nilai Tegangan dan Arus Hasil Pengujian Simulasi pada PV Panel *Combined Solar Tracker 5 Membership function*

Dari gambar 4.10 sampai gambar 4.12 hasil simulasi *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Square Error* sebagai yaitu:

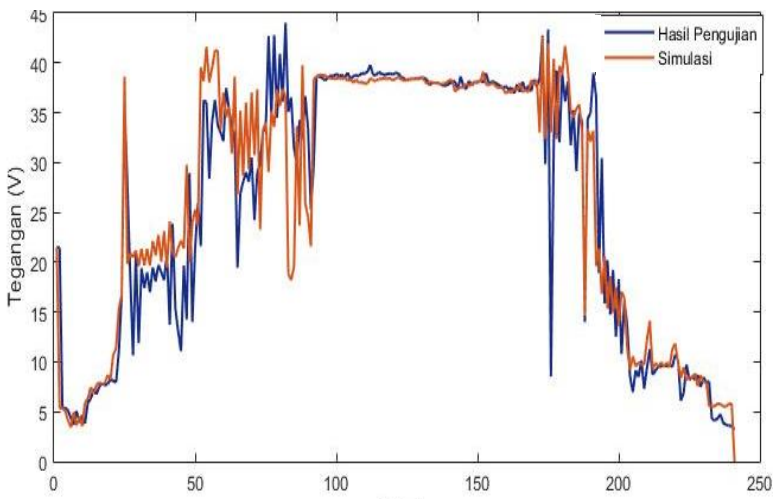
Tabel 4.11 Perbandingan RMSE dan MSE Hasil Simulasi 5 *Membership function*

Output	RMSE		MSE	
	Hasil pengujian	Hasil Simulasi	Hasil pengujian	Hasil Simulasi
Tegangan <i>Passive</i>	0,06029	0,05695	0,00363	0,00324
Arus <i>Passive</i>	0,06257	0,05630	0,00391	0,00316
Tegangan <i>Active</i>	0,08655	0,08192	0,00749	0,00671
Arus <i>Active</i>	0,08280	0,08090	0,00685	0,00654
Tegangan <i>Combined</i>	0,01764	0,01938	0,00031	0,00037
Arus <i>Combined</i>	0,01845	0,01945	0,00034	0,00037

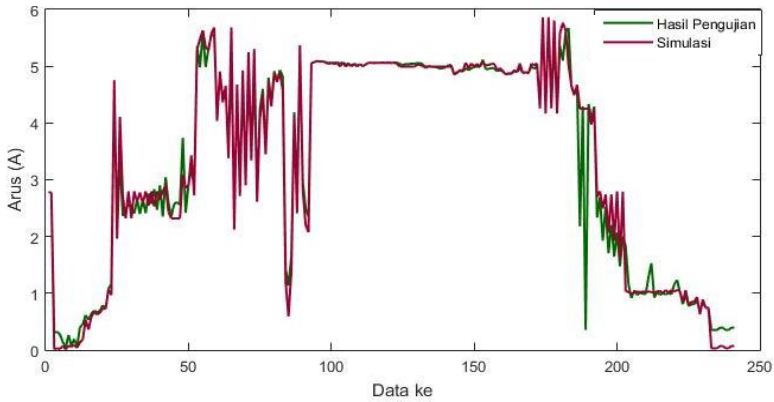
Pada grafik yang disajikan di Gambar 4.10 merupakan hasil simulasi PV Panel *Solar Tracker passive* dengan output tegangan dan arus, didapatkan nilai RMSE dan MSE yaitu 0,05695 dan 0,00324 pada output tegangan, 0,05630 dan 0,00316 pada output arus. Pada di Gambar 4.11 merupakan hasil simulasi PV Panel *Solar Tracker active* dengan output tegangan dan arus, didapatkan nilai RMSE dan MSE yaitu 0,08192 dan 0,00671 pada output tegangan dan 0,08090 dan 0,00654 pada output arus . Pada di Gambar 4.12 merupakan hasil simulasi PV Panel *Combined Solar Tracker* dengan output tegangan dan arus, didapatkan nilai RMSE dan MSE yaitu 0,01938 dan 0,00037 pada output tegangan dan 0,01945 dan 0,00037 pada output arus .

4.3.3 Hasil Simulasi 7 *Membership function Passive, Active dan Combined*

Pada pengujian dengan 7 *membership function* dengan membandingkan nilai output yaitu tegangan dan arus yang telah didapat pada percobaan dilakukan pada P1, P2, P3 dan P4. Berikut merupakan hasil yang telah didapatkan :



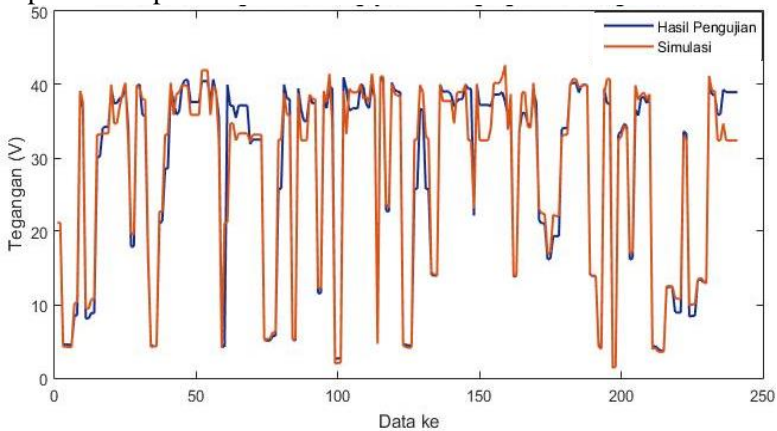
(a)



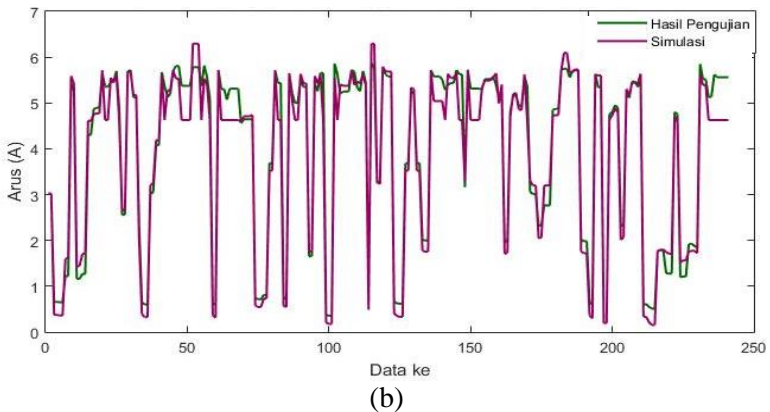
(b)

Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Nilai Tegangan dan Arus Hasil Pengujian Simulasi pada PV Panel *Passive 7 Membership function*

Pada Hasil Simulasi dengan menggunakan 7 *membership function* pada PV Panel *passive* dapat dilihat pada gambar 4.13 dengan output tegangan dan arus, nilai hasil simulasi hampir dapat mengikuti nilai dari hasil pengujian hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.12

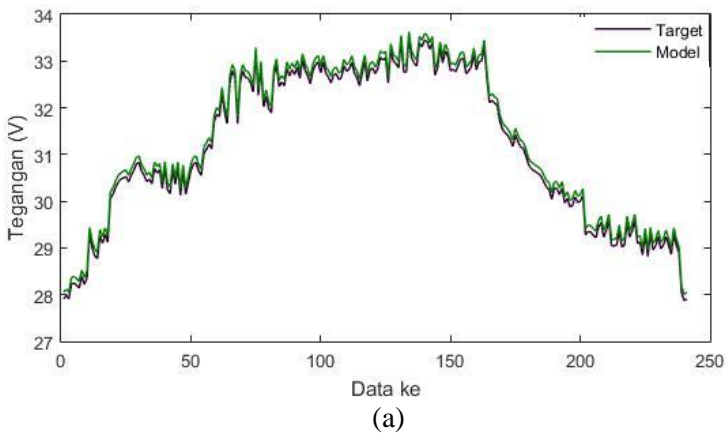


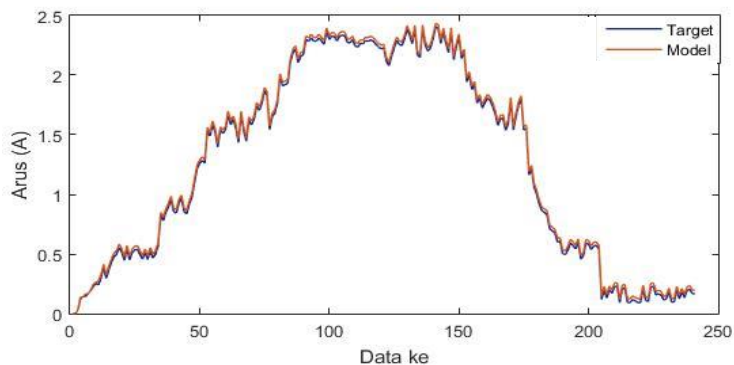
(a)



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Nilai Tegangan dan Arus Hasil Pengujian Simulasi pada PV Panel *Active 7 Membership function*

Dari gambar 4.14 merupakan grafik hasil pengujian PV Panel *Active 3 Membership Function* dengan output tegangan dan arus. Dari gambar tersebut didapat nilai simulasi hampir memiliki nilai sama dengan hasil pengujian yang dapat dilihat pada tabel 4.12





(b)

Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Nilai Tegangan dan Arus Hasil Pengujian Simulasi pada PV Panel *Combined Solar Tracker 7 Membership function*

Hasil nilai dari simulasi didapatkan *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Square Error* sebagai berikut :

Tabel 4.12 Perbandingan RMSE dan MSE Hasil Simulasi 7 *Membership function*

Output	RMSE		MSE	
	Hasil pengujian	Hasil Simulasi	Hasil pengujian	Hasil Simulasi
Tegangan <i>Passive</i>	0,10132	0,10057	0,01026	0,01011
Arus <i>Passive</i>	0,10475	0,10366	0,01097	0,01074
Tegangan <i>Active</i>	0,09773	0,09681	0,00955	0,00937
Arus <i>Active</i>	0,09669	0,09520	0,00934	0,00906
Tegangan <i>Combined</i>	0,01769	0,01718	0,00031	0,00029
Arus <i>Combined</i>	0,01745	0,01680	0,00304	0,00282

Grafik pada Gambar 4.13 merupakan hasil simulasi PV Panel *Solar Tracker passive* dengan output tegangan dan arus, didapatkan nilai RMSE dan MSE yaitu 0,10057 dan 0,01011 pada output tegangan, 0,10366 dan 0,01074 pada output arus. Pada di Gambar 4.14 merupakan hasil simulasi PV Panel *Solar Tracker active* dengan output tegangan dan arus, didapatkan nilai RMSE dan MSE yaitu 0,09681 dan 0,00937 pada output tegangan dan 0,09520 dan 0,00906 pada output arus . Pada di Gambar 4.15 merupakan hasil simulasi PV Panel *Combined Solar Tracker* dengan output tegangan dan arus, didapatkan nilai RMSE dan MSE yaitu 0,01738 dan 0,00030 pada output tegangan dan 0,01680 dan 0,00282 pada output arus .

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai pemodelan dan simulasi PV Panel pada *Combined Solar tracker*, maka dapat ditarik kesimpulan sesuai dengan rumusan masalah penelitian sebagai berikut :

- Pemodelan PV panel *Combined Solar Tracker* dapat dimodelkan dengan Fuzzy-BFO dengan parameter input iradiasi 998,3 (W/m^2), temperature 38,35° dan kecepatan angin 2,1 (m/s^2) dengan keluaran tegangan maksimum sebesar 30,18 V dan arus maksimum 0.512 A.
- Validasi dilakukan menggunakan evalfis pada MATLAB dengan hasil RMSE pada 3 *membership function passive*, 5 *membership function passive* dan 7 *membership function passive*, didapatkan nilai terbaik pada 7 *membership function passive*, sebesar 0,03212 % dan BFO sebesar 0,01010 % Pada 3 *membership function active* 5 *membership function active* dan 7 *membership function active* nilai terbaik yaitu pada 7 *membership function active* dengan nilai Fuzzy sebesar 0,00204 % dan BFO sebesar 0,000004 A
- Hasil Simulasi Fuzzy dan Fuzzy BFO mampu menghasilkan akurasi yang baik pada pada 7 *membership function* dengan *output* tegangan sebesar 0,01769 V dan pada output arus sebesar 0,01745 A

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan pada penelitian selanjutnya adalah :

- a. Sebaiknya pengambilan data pada real plant dilakukan dengan teliti agar didapat data yang baik dan mendapatkan *error* yang kecil
- b. Alat ukur yang telah terkalibrasi yang digunakan saat melakukan pengambilan data agar didapatkan data lebih valid

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Wardani, "Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi," 14 September 2017. [Online]. Available: [Http://Ebtke.Esdm.Go.Id](http://Ebtke.Esdm.Go.Id). [Accessed 8 Desember 2017].
- [2] Nugraha, A. I., & Abadi, I. (2016). Implementasi Teknik Maximum Power Point Tracking (Mppt) Pada Sistem Penjejak Matahari Berbasis Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (Anfis). *POMITS*.
- [3] Abadi, I., Musyafa', A., & Soeprijanto, A. (2015). Type-2 fuzzy logic controller based pv passive two-axis solar tracking system. *International Review of Electrical Engineering*, 10(3).
- [4] Abadi, I., Musyafa', A., & Soeprijanto, A. (2015). Type-2 fuzzy logic controller based pv passive two-axis solar tracking system. *International Review of Electrical Engineering*, 10(3).
- [5] Goetzbecker, & Hoffman. (2005). *Photovoltaic Solar Energy Generation*. Springer.
- [6] Habbati, B., & Ramdani, Y. (2014). A detailed modeling of photovoltaic module using MATLAB. *NRIAG Juornal of astronomy and geophysucs*, 54.
- [7] Planning And Installing Photovoltaic Systems: A Guide For Installers, Architects And Engineers., London, Sterling, Va: Earthscan, 2005.
- [8] Li, J. (2014). Analysis and Improvement of the Bacterial Foraging Optimization Algorithm. *Journal of Computing Science and Engineering*, 8(1), 1–10.
- [9] V. Quaschnig, Understanding Renewable Energy Systems, London, Sterling, Va: Earthscan, 2005.
- [10] S. Abidah, "Analisis Komparasi Metode Tsukamoto Dan Sugeno Dalam Prediksi Jumlah Siswa Baru," *Journal Speed*, Vol. 8, 2016.

- [11] I. H. Muna, "Perancangan Aplikasi Fuzzy Inference Systems Untuk Penilaian Kinerja Pegawai Perpustakaan Dan Pustakawan,," Unnes, Semarang, 2005.
- [12] L. P. Ayuningtyas, "Analisa Perbandingan Logic Fuzzy Metode Tsukamoto, Sugeno, Dan Mamdani (Studi Kasus : Prediksi Jumlah Pendaftar Mahasiswa Baru Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung)," *Jurnal Teknik Informatika*, Vol. April, P. 9, 2017.
- [13] H. Sadeghzadeh, "Techno-Economic Optimization Of A Shell And Tube Heat Exchanger," *Elsevier*, Vol. 93, No. Eergy Conversion And Managemenr, Pp. 84-91, 2015.
- [14] Brownlee, J. (2011). *Clever Algorithms. Search*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [15] Klein, W. D., & Bockman, W. (2006). Improvment and Validation of a Model for Fotovoltaic Array performance. *Sciencedirect*, 85.
- [16] Mboumboue, E., & Njomo, D. (2013). Mathematical Modeling and Digital Simulation of PV Solar Panel using MATLAB Software. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 24.
- [17] Nema, S., Nema, R., & Agnihotri, G. (2010). Matlab / simulink based study of photovoltaic cells/modules/array and their experimental verification. *intentional journal of energy and enviromental*, 487-500.
- [18] Veldhuis, A., & Reinders, A. (2015). Reviewing the potential and cost-effectiveness of off-grid PV systems in Indonesia on a provincial level . Dalam *Renewable and Sustainable Energy Review* (hal. 757-769). Netherlands: University of Twente, Faculty of CTW, Department of Design, Production and Management,

LAMPIRAN A MATLAB SCRIPT

1. PROGRAM HASIL MENGGUNAKAN FUZZY

```
clear all
clc
close al

% Memanggil workspace data yang akan dimodelkan
load ('datapengukuran.mat')

% Memanggil data fuzzy
% data fuzzy dibuat dengan toolbox fuzzy
% dengan jenis trimf dan jumlah MF 3 iterasi
% sebanyak 100
fis1=readfis('m11.fis'); % untuk pengukuran 2
                        input
fis2=readfis('m21.fis'); % untuk pengukuran 3
                        input
fis3=readfis('m32.fis'); % untuk pengukuran 4
                        input

% membuat matriks data input
input1=real(:,3:4); % pengukuran 2 input
input2=real(:,2:4); % pengukuran 3 input
input3=real(:,1:4); % pengukuran 4 input

% hasil pemodelan
output1=evalfis(input1,fis1); % pengukuran 2
                             input
output2=evalfis(input2,fis2); % pengukuran 3
                             input
output3=evalfis(input3,fis3); % pengukuran 4
                             input
outreal=[output1 output2 output3];
outbmkg=[output4 output5 output6];

% membuat matriks data input
input7=real1(:,3:4); % pengukuran 2 input
```



```

input8=real1(:,2:4); % pengukuran 3 input
input9=real1(:,1:4); % pengukuran 4 input
% hasil pemodelan pv panel
output7=evalfis(input1,fis1); % pengukuran 2
                                input
output8=evalfis(input2,fis2); % pengukuran 3
                                input
output9=evalfis(input3,fis3); % pengukuran 4
                                input
outreal=[output7 output8 output9];

% selanjutnya hasil pemodelan diolah dengan
excel untuk dihitung RMSE dan MAE, dilanjutkan
dengan optimasi menggunakan FuzzyBFO

```

2. PROGRAM OPTIMASI MENGGUNAKAN *BFO*

```

%Bacterial Foraging Optimisation%
clc
clear
close all

Ne=2; % Thenumberofelimination-dispersal events
Nr=4; % The number of reproduction steps
Nc=30; % Number of chemotactic steps
Np=60;
Ns=4; % Limits the length of a swim
D=5;
%C=0.01;
Ped=0.9; % elimination dispersion probability
%=====
%x=(rand(Np,D)-0.5)*60 % x lies in [-30 30]
i=1;
a(:,i)=-0.25;
b(:,i)=0.0010;
c(:,i)=0.2501;

d(:,i)=-0.0041;
e(:,i)=0.2462;
f(:,i)=0.4998;

```

```

g(:,i)=0.2297;
h(:,i)=0.4972;
j(:,i)=0.7499;

k(:,i)=0.4999;
l(:,i)=0.7499;
m(:,i)=1;

o(:,i)=0.75;
p(:,i)=1;
q(:,i)=1.25;
%=====
x1(:,i)=(c(:,i)-(rand(Np,1)*(c(:,i)-b(:,i)))));
myu3(:,i)=zeros(Np,1);
x2(:,i)=(e(:,i)-(rand(Np,1)*(e(:,i)-d(:,i)))));
%constraint: d<=x2<=e
myu4(:,i)=zeros(Np,1);
x3(:,i)=(f(:,i)-(rand(Np,1)*(f(:,i)-e(:,i)))));
%constraint: e<=x3<=f
myu6(:,i)=zeros(Np,1);
x4(:,i)=(h(:,i)-(rand(Np,1)*(h(:,i)-g(:,i)))));
%constraint: g<=x4<=h
myu7(:,i)=zeros(Np,1);
x5(:,i)=(j(:,i)-(rand(Np,1)*(j(:,i)-h(:,i)))));
%constraint: h<=x5<=j
myu9(:,i)=zeros(Np,1);
x6(:,i)=(l(:,i)-(rand(Np,1)*(l(:,i)-k(:,i)))));
%constraint: k<=x6<=l
myu10(:,i)=zeros(Np,1);
x7(:,i)=(m(:,i)-(rand(Np,1)*(m(:,i)-l(:,i)))));
%constraint: l<=x7<=m
myu12(:,i)=zeros(Np,1);
x8(:,i)=(p(:,i)-(rand(Np,1)*(p(:,i)-o(:,i)))));
%constraint: o<=x8<=p
myu13(:,i)=zeros(Np,1);
%=====
for kk=1:Np
%for i=1:D-1
%J(k)=sum(100*(x(k,i+1)-x(k,i)^2)^2+(x(k,i)-
1)^2)      %      initial      fitness      calculation

```

```

myu1(:,i)=1; %
myu1=derajat keanggotaan PB batas kiri (a)
(tetap)
myu2(:,i)=1; %
myu2=derajat keanggotaan PB batas tengah (b)
(tetap)
myu3(:,i)=(c(:,i)-x1(:,i))/(c(:,i)-b(:,i)) %
myu3=derajat keanggotaan PB batas kanan (c)
y1=1; %
y1=derajat keanggotaan ideal PB batas kiri (a)
adalah 1 (tetap)
y2=1; %
y2=derajat keanggotaan ideal PB batas tengah (b)
adalah 1 (tetap)
y3=0; %
y3=derajat keanggotaan ideal PB batas kanan (c)
adalah 0
myu4(:,i)=(x2(:,i)-d(:,i))/(e(:,i)-d(:,i)); %
myu4=derajat keanggotaan PS batas kiri (d)
myu5(:,i)=1; %
myu5=derajat keanggotaan PS batas tengah (e)
(tetap)
myu6(:,i)=(f(:,i)-x3(:,i))/(f(:,i)-e(:,i)); %
myu6=derajat keanggotaan PS batas kanan (f)
y4=0; %
y4=derajat keanggotaan ideal PS batas kiri (d)
adalah 0
y5=1; %
y5=derajat keanggotaan ideal PS batas tengah (e)
adalah 1 (tetap)
y6=0; %
y6=derajat keanggotaan ideal PS batas kanan (f)
adalah 0
myu7(:,i)=(x4(:,i)-g(:,i))/(h(:,i)-g(:,i)); %
myu7=derajat keanggotaan ZE batas kiri (g)
myu8(:,i)=1; %
myu8=derajat keanggotaan ZE batas tengah (h)
(tetap)
myu9(:,i)=(j(:,i)-x5(:,i))/(j(:,i)-h(:,i)); %
myu9=derajat keanggotaan ZE batas kanan (j)

```

```

y7=0; %
y7=derajat keanggotaan ideal ZE batas kiri (g)
adalah 0
y8=1; %
y8=derajat keanggotaan ideal ZE batas tengah (h)
adalah 1 (tetap)
y9=0; %
y9=derajat keanggotaan ideal ZE batas kanan (j)
adalah 0
myu10(:,i)=(x6(:,i)-k(:,i))/(l(:,i)-k(:,i)); %
myu10=derajat keanggotaan PS batas kiri (k)
myu11(:,i)=1; %
myu11=derajat keanggotaan PS batas tengah (l)
(tetap)
myu12(:,i)=(m(:,i)-x7(:,i))/(m(:,i)-l(:,i)); %
myu12=derajat keanggotaan PS batas kanan (m)
y10=0; %
y10=derajat keanggotaan ideal PS batas kiri (k)
adalah 0
y11=1; %
y11=derajat keanggotaan ideal PS batas tengah (l)
adalah 1 (tetap)
y12=0; %
y12=derajat keanggotaan ideal PS batas kanan (m)
adalah 0
myu13(:,i)=(x8(:,i)-o(:,i))/(p(:,i)-o(:,i)); %
myu13=derajat keanggotaan PB batas kiri (o)
myu14(:,i)=1; %
myu14=derajat keanggotaan PB batas tengah (p)
(tetap)
myu15(:,i)=1; %
myu15=derajat keanggotaan PB batas kanan (q)
(tetap)
y13=0; %
y13=derajat keanggotaan ideal PB batas kiri (o)
adalah 0
y14=1; %
y14=derajat keanggotaan ideal PB batas tengah (p)
adalah 1 (tetap)

```

```

y15=1; %
y15=derajat keanggotaan ideal PB batas kanan (q)
adalah 1 (tetap)
%end
end
Jlast(:,i)=(((y1-myu1(:,i)).^2)+((y2-
myu2(:,i)).^2)+((y3-myu3(:,i)).^2)+((y4-
myu4(:,i)).^2)+((y5-myu5(:,i)).^2)+...
((y6-myu6(:,i)).^2)+((y7-myu7(:,i)).^2)+((y8-
myu8(:,i)).^2)+((y9-myu9(:,i)).^2)+((y10-
myu10(:,i)).^2)+((y11-myu11(:,i)).^2)+...
((y12-myu12(:,i)).^2)+((y13-
myu13(:,i)).^2)+((y14-myu14(:,i)).^2)+((y15-
myu15(:,i)).^2))/15;
%Jlast=J;
%=====
for ll=1:Ne
for kk=1:Nr
Jchem1=myu3
Jchem2=myu4;
Jchem3=myu6;
Jchem4=myu7;
Jchem5=myu9;
Jchem6=myu10;
Jchem7=myu12;
Jchem8=myu13;
for jj=1:Nc
% Chemotaxis Loop %
for ii=1:Np
%del=(rand(1,D)-0.5)*2;
%x(i,:)=x(i,:)+(C/sqrt(del*del'))*del;
x1(:,i)=(c(:,i)-(rand(Np,1)*(c(:,i)-b(:,i)))));
x2(:,i)=(e(:,i)-(rand(Np,1)*(e(:,i)-d(:,i)))));
x3(:,i)=(f(:,i)-(rand(Np,1)*(f(:,i)-e(:,i)))));
x4(:,i)=(h(:,i)-(rand(Np,1)*(h(:,i)-g(:,i)))));
x5(:,i)=(j(:,i)-(rand(Np,1)*(j(:,i)-h(:,i)))));
x6(:,i)=(l(:,i)-(rand(Np,1)*(l(:,i)-
k(:,i))));x7(:,i)=(m(:,i)-(rand(Np,1)*(m(:,i)-
l(:,i))));
x8(:,i)=(p(:,i)-(rand(Np,1)*(p(:,i)-o(:,i))));
for dd=1:D-1

```

```

myu3=(c(:,i)-x1(:,i))/(c(:,i)-b(:,i));
myu4(:,i)=(x2(:,i)-d(:,i))/(e(:,i)-d(:,i));
myu6(:,i)=(f(:,i)-x3(:,i))/(f(:,i)-e(:,i));
myu7(:,i)=(x4(:,i)-g(:,i))/(h(:,i)-g(:,i));
myu9(:,i)=(j(:,i)-x5(:,i))/(j(:,i)-h(:,i));
myu10(:,i)=(x6(:,i)-k(:,i))/(l(:,i)-k(:,i));
myu12(:,i)=(m(:,i)-x7(:,i))/(m(:,i)-l(:,i));
myu13(:,i)=(x8(:,i)-o(:,i))/(p(:,i)-o(:,i));
end
for mm=1:Ns
myu3(ii)<Jlast(ii)
Jlast(ii)=myu3(ii);
x1(:,i)=(c(:,i)-(rand(Np,1)*(c(:,i)-b(:,i)))));

%x(i,:)=x(i,:)+C*(del/sqrt(del*del'));
for dd=1:D-1
myu3=(c(:,i)-x1(:,i))/(c(:,i)-b(:,i));
end
else
%del=(rand(1,D)-0.5)*2;
x1(:,i)=(c(:,i)-(rand(Np,1)*(c(:,i)-b(:,i))))
for dd=1:D-1
myu3=(c(:,i)-x1(:,i))/(c(:,i)-b(:,i));
end
end
if myu4(ii)<Jlast(ii) Jlast(ii)=myu4(ii);
x2(:,i)=(e(:,i)-(rand(Np,1)*(e(:,i)-d(:,i)))));
for dd=1:D-1
myu4(:,i)=(x2(:,i)-d(:,i))/(e(:,i)-d(:,i));
end
else
x2(:,i)=(e(:,i)-(rand(Np,1)*(e(:,i)-d(:,i)))));
for dd=1:D-1
myu4(:,i)=(x2(:,i)-d(:,i))/(e(:,i)-d(:,i));
end
end
if
myu6(ii)<Jlast(ii) Jlast(ii)=myu6(ii); x3(:,i)=(f(
(:,i)-(rand(Np,1)*(f(:,i)-e(:,i)))));
for dd=1:D-1
myu6=(f(:,i)-x3(:,i))/(f(:,i)-e(:,i));

```

```

end
else
x3(:,i)=(f(:,i)-(rand(Np,1)*(f(:,i)-e(:,i)))));
for dd=1:D-1
myu6=(f(:,i)-x3(:,i))/(f(:,i)-e(:,i));
end
end
if myu7(ii)<Jlast(ii)
Jlast(ii)=myu7(ii);
x4(:,i)=(h(:,i)-(rand(Np,1)*(h(:,i)-g(:,i)))));
for dd=1:D-1
myu7(:,i)=(x4(:,i)-g(:,i))/(h(:,i)-g(:,i));
end
else
x4(:,i)=(h(:,i)-(rand(Np,1)*(h(:,i)-g(:,i)))));
for dd=1:D-1
myu7(:,i)=(x4(:,i)-g(:,i))/(h(:,i)-g(:,i));
end
end
if myu9(ii)<Jlast(ii)
Jlast(ii)=myu9(ii);
x5(:,i)=(j(:,i)-(rand(Np,1)*(j(:,i)-h(:,i)))));
for dd=1:D-1
myu9(:,i)=(j(:,i)-x5(:,i))/(j(:,i)-h(:,i));
end
else
x5(:,i)=(j(:,i)-(rand(Np,1)*(j(:,i)-h(:,i)))));
for dd=1:D-1
myu9(:,i)=(j(:,i)-x5(:,i))/(j(:,i)-h(:,i));
end
end
if myu10(ii)<Jlast(ii)
Jlast(ii)=myu10(ii);
x6(:,i)=(l(:,i)-(rand(Np,1)*(l(:,i)-k(:,i)))));
for dd=1:D-1
myu10(:,i)=(x6(:,i)-k(:,i))/(l(:,i)-k(:,i));
end
else
x6(:,i)=(l(:,i)-(rand(Np,1)*(l(:,i)-k(:,i)))));
for dd=1:D-
myu10(:,i)=(x6(:,i)-k(:,i))/(l(:,i)-k(:,i));

```

```

end
end
if myul2(ii)<Jlast(ii)
Jlast(ii)=myul2(ii);
x7(:,i)=(m(:,i)-(rand(Np,1)*(m(:,i)-l(:,i)))));
for dd=1:D-1
myul2(:,i)=(m(:,i)-x7(:,i))/(m(:,i)-l(:,i));
end
else
x7(:,i)=(m(:,i)-(rand(Np,1)*(m(:,i)-l(:,i)))));
for dd=1:D-1
myul2(:,i)=(m(:,i)-x7(:,i))/(m(:,i)-l(:,i));
end
end
if myul3(ii)<Jlast(ii)
Jlast(ii)=myul3(ii);
x8(:,i)=(p(:,i)-(rand(Np,1)*(p(:,i)-o(:,i)))));
for dd=1:D-1
myul3(:,i)=(x8(:,i)-o(:,i))/(p(:,i)-o(:,i));
end
else
x8(:,i)=(p(:,i)-(rand(Np,1)*(p(:,i)-o(:,i)))));
for dd=1:D-1
myul3(:,i)=(x8(:,i)-o(:,i))/(p(:,i)-o(:,i));
end
end
end
end
Jchem1=[Jchem1;myu3];
Jchem2=[Jchem2;myu4];
Jchem3=[Jchem3;myu6];
Jchem4=[Jchem4;myu7];
Jchem5=[Jchem5;myu9];
Jchem6=[Jchem6;myu10];
Jchem7=[Jchem7;myu12];
Jchem8=[Jchem8;myu13];
end % End of Chemotaxis %
for jj=1:Np
Jhealth1(jj)=sum(Jchem1(jj,:)); % sum of cost
function of all chemotactic loops for a given k &
1

```



```

Jhealth2(jj)=sum(Jchem2(jj,:));
Jhealth3(jj)=sum(Jchem3(jj,:));
Jhealth4(jj)=sum(Jchem4(jj,:));
Jhealth5(jj)=sum(Jchem5(jj,:));
Jhealth6(jj)=sum(Jchem6(jj,:));
Jhealth7(jj)=sum(Jchem7(jj,:));
Jhealth8(jj)=sum(Jchem8(jj,:));
    end
[Jhealth1,I1]=sort(Jhealth1,'ascend');
x1=[x1(I1(1:Np/2),:);x1(I1(1:Np/2),:)];
myu3=[myu3(I1(1:Np/2),:);myu3(I1(1:Np/2),:)];
xmin1=x1(I1(1),:);
[Jhealth2,I2]=sort(Jhealth2,'ascend');
x2=[x2(I2(1:Np/2),:);x2(I2(1:Np/2),:)];
myu4=[myu4(I2(1:Np/2),:);myu4(I2(1:Np/2),:)];
xmin2=x2(I2(1),:);
[Jhealth3,I3]=sort(Jhealth3,'ascend');
x3=[x3(I3(1:Np/2),:);x3(I3(1:Np/2),:)];
myu6=[myu6(I3(1:Np/2),:);myu6(I3(1:Np/2),:)];
xmin3=x3(I3(1),:);
[Jhealth4,I4]=sort(Jhealth4,'ascend');
x4=[x4(I4(1:Np/2),:);x4(I4(1:Np/2),:)];myu7=[myu
7(I4(1:Np/2),:);myu7(I4(1:Np/2),:)];
xmin4=x4(I4(1),:);
[Jhealth5,I5]=sort(Jhealth5,'ascend');
x5=[x5(I5(1:Np/2),:);x5(I5(1:Np/2),:)];
myu9=[myu9(I5(1:Np/2),:);myu9(I5(1:Np/2),:)];
xmin5=x5(I5(1),:);
[Jhealth6,I6]=sort(Jhealth6,'ascend');
x6=[x6(I6(1:Np/2),:);x6(I6(1:Np/2),:)];
myu10=[myu10(I6(1:Np/2),:);myu10(I6(1:Np/2),:)];
xmin6=x6(I6(1),:);
[Jhealth7,I7]=sort(Jhealth7,'ascend');
x7=[x7(I7(1:Np/2),:);x7(I7(1:Np/2),:)];
myu12=[myu12(I7(1:Np/2),:);myu12(I7(1:Np/2),:)];
xmin7=x7(I7(1),:);
[Jhealth8,I8]=sort(Jhealth8,'ascend');
x8=[x8(I8(1:Np/2),:);x8(I8(1:Np/2),:)];
myu13=[myu13(I8(1:Np/2),:);myu13(I8(1:Np/2),:)];
xmin8=x8(I8(1),:);
end

```

```

Jmin1(11)=min(myu3);
Jmin2(11)=min(myu4);
Jmin3(11)=min(myu6);
Jmin4(11)=min(myu7);
Jmin5(11)=min(myu9);
Jmin6(11)=min(myu10);
Jmin7(11)=min(myu12);
Jmin8(11)=min(myu13);
% random elimination dispersion
for jj=1:Np
    r=rand;
    if r>=Ped
        x1(:,i)=(c(:,i)-
(rand(Np,1)*(c(:,i)-b(:,i))));
        for dd=1:D-1
            myu3=(c(:,i)-
x1(:,i))/(c(:,i)-b(:,i));
        end
    end
    if r>=Ped
        x2(:,i)=(e(:,i)-
(rand(Np,1)*(e(:,i)-d(:,i))));
        for dd=1:D-1
            myu4(:,i)=(x2(:,i)-
d(:,i))/(e(:,i)-d(:,i));
        end
    end
    if r>=Ped
        x3(:,i)=(f(:,i)-
(rand(Np,1)*(f(:,i)-e(:,i))));
        for dd=1:D-1
            myu6=(f(:,i)-
x3(:,i))/(f(:,i)-e(:,i));
        end
    end
    if r>=Ped
        x4(:,i)=(h(:,i)-
(rand(Np,1)*(h(:,i)-g(:,i))));
        for dd=1:D-1
            myu7(:,i)=(x4(:,i)-
g(:,i))/(h(:,i)-g(:,i));

```

```

        end
    end
    if r>=Ped
        x5(:,i)=(j(:,i)-
(rand(Np,1)*(j(:,i)-h(:,i)))));
        for dd=1:D-1
            myu9(:,i)=(j(:,i)-
x5(:,i))/(j(:,i)-h(:,i));
        end
    end
    if r>=Ped
        x6(:,i)=(l(:,i)-
(rand(Np,1)*(l(:,i)-k(:,i)))));
        for dd=1:D-1
            myu10(:,i)=(x6(:,i)-
k(:,i))/(l(:,i)-k(:,i));
        end
    end
    if r>=Ped
        x7(:,i)=(m(:,i)-
(rand(Np,1)*(m(:,i)-l(:,i)))));
        for dd=1:D-1
            myu12(:,i)=(m(:,i)-
x7(:,i))/(m(:,i)-l(:,i));
        end
    end
    if r>=Ped
        x8(:,i)=(p(:,i)-
(rand(Np,1)*(p(:,i)-o(:,i)))));
        for dd=1:D-1 myu13(:,i)=(x8(:,i)-
o(:,i))/(p(:,i)-o(:,i));
        end
    end
end
end
%plot(Jmin1);
%plot(Jmin2);
%plot(xmin1)

```

LAMPIRAN B
DATA HASIL PENGUKURAN PV PANEL *PASSIVE*

Data ke-	Temperatur	Radiasi matahari (Watt/m ²)	Kec. Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	28,2	39,2	0	0,00	0,00
2	28	34,9	0	2,08	0,30
3	27,2	50,8	0	2,49	0,36
4	26,6	32,7	0	2,22	0,32
5	27,8	52,3	0	3,22	0,46
6	26,8	47,2	0	2,08	0,30
7	27,4	56,6	0	3,31	0,47
8	26,8	40,9	0	2,99	0,43
9	28,4	70,1	0	3,58	0,51
10	28,8	60,3	0	2,59	0,37
11	29,6	95,4	0	4,43	0,63
12	29,2	67,5	0	3,82	0,55
13	29,8	95,4	0	6,02	0,86
14	30,2	82,5	0	4,27	0,61
15	30	86,4	0	6,02	0,86
16	30,2	65,6	0	5,22	0,75
17	30,4	150,5	0	5,46	0,78
18	30,4	96,5	0	4,16	0,59
19	30,4	174,5	0	9,45	1,35
20	34,2	133,5	0,1	6,09	0,87
21	34,2	407,7	0,2	10,92	1,56
22	34,6	276,8	0,1	8,42	1,20
23	36,4	407,8	0,2	24,93	3,56
24	37,4	272,5	0,1	17,18	2,45
25	38,4	405,8	0,1	24,97	3,57
26	38,2	283,3	0,1	16,95	2,42
27	38,8	404,7	0,1	24,88	3,55
28	38,4	269,6	0,1	17,61	2,52
29	38,6	357,4	0,1	24,82	3,55

30	37,8	270,8	0	16,78	2,40
31	38,6	360,2	0	22,04	3,15
32	38,4	270,4	0	16,85	2,41
33	39,2	364,3	0	22,20	3,17
34	39	276,3	0	16,83	2,40
35	39,6	365,4	0	22,45	3,21
36	39,2	266,4	0	17,19	2,46
37	39,8	353,2	0	22,52	3,22
38	40	248,2	0	16,60	2,37
39	40,4	340,4	0	21,80	3,11
40	37,8	404,5	0	15,50	2,21
41	38,6	495,2	0	21,05	3,01
42	39	415	0	24,80	3,54
43	39,2	513,3	0	29,96	4,28
44	39	422,3	0	25,43	3,63
45	40,6	539,8	0	30,91	4,42
46	40,2	251,5	0	25,85	3,69
47	40,8	505,6	0	32,15	4,59
48	41,2	338,6	0	15,70	2,24
49	40,6	508,5	0	30,51	4,36
50	47	558,2	0	20,95	2,99
51	47,4	636,7	0	30,66	4,38
52	48,2	581,2	3,7	32,63	4,66
53	48,6	633,3	1,2	34,59	4,94
54	47,4	559,2	0	33,26	4,75
55	48,4	596,7	1,5	34,41	4,92
56	48	576	1,8	32,64	4,66
57	49	692,9	0	33,65	4,81
58	50,6	631,2	0	33,13	4,73
59	50,2	712,7	1,7	35,28	5,04
60	49,2	665,1	2	34,17	4,88
61	47,6	695,2	4,2	35,38	5,05
62	46,4	635,9	4	34,87	4,98
63	46	705,3	1,8	35,46	5,07
64	46,6	658,7	2,1	34,67	4,95

65	46,6	700	2,3	35,77	5,11
66	46,4	653,1	1,9	35,05	5,01
67	47,2	702,2	2,5	35,64	5,09
68	46	646,7	2,8	34,98	5,00
69	46,8	688,9	2,3	35,60	5,09
70	46,6	644,2	1,5	34,91	4,99
71	48,6	848,1	0,5	35,47	5,07
72	50,2	747,8	0,2	34,80	4,97
73	50,6	817,8	0,7	36,74	5,25
74	49,6	778,2	2	35,74	5,11
75	50,8	814,6	0,9	36,28	5,18
76	50,4	763,5	0,7	36,09	5,16
77	51,8	800,2	1,1	36,23	5,18
78	50,8	753,5	0,2	35,86	5,12
79	52,4	810,3	0,2	35,99	5,14
80	48,8	538	2,5	35,72	5,10
81	47,4	778,9	3,1	35,99	5,14
82	46,8	762,7	3,7	31,81	5,54
83	47,6	787,5	2	36,37	5,20
84	49	688,5	5,6	36,29	5,18
85	48,6	816,4	2,7	36,41	5,20
86	48,2	566,4	0	35,22	5,03
87	49	795,6	2,1	36,52	5,22
88	48,4	762,9	0,5	32,83	4,69
89	48,2	830,2	2,2	36,31	5,19
90	58,6	898,5	2,7	36,10	5,16
91	61,2	909,5	0,3	36,67	5,24
92	63,1	876,5	0,1	35,75	5,11
93	63,6	912,4	0,1	35,47	5,07
94	62,6	888,5	0,1	35,04	5,01
95	60,2	912,5	0,2	35,17	5,02
96	59,4	877,2	0,1	35,17	5,02
97	59	920,4	0,1	35,62	5,09
98	59,2	876,2	0,1	35,53	5,08
99	59,6	917,2	0	35,81	5,12

100	59,2	819,5	2,5	35,55	5,08
101	60,6	895,4	2	35,72	5,10
102	58	821	1,9	35,19	5,03
103	58,8	872,5	0,7	35,47	5,07
104	57	825,5	1,1	35,36	5,05
105	58,2	872	0,4	35,58	5,08
106	57	822,4	0,2	35,52	5,07
107	57,2	870	1,2	35,65	5,09
108	56,5	823	1,3	35,50	5,07
109	56,2	869,6	1,8	35,77	5,11
110	59,4	912,7	0	35,56	5,08
111	57,6	920,4	1,7	35,90	5,13
112	57,4	913,4	0	35,72	5,10
113	58,4	919,7	1,1	36,00	5,14
114	58,4	912,5	1,8	35,99	5,14
115	59,2	920	0	35,89	5,13
116	58,2	913,2	0	35,85	5,12
117	59,6	921,5	0,2	35,79	5,11
118	57,6	914	0,2	35,88	5,13
119	59	923,2	0,1	35,74	5,11
120	60,6	799,8	0,4	35,96	5,14
121	59,4	801,5	0,8	35,83	5,12
122	58	796,4	1,7	34,88	4,98
123	59,2	800,9	0,2	35,04	5,01
124	59	798	2	35,18	5,03
125	59,4	800,8	2,1	35,06	5,01
126	59,4	794,3	1,1	35,07	5,01
127	60	795,4	1,9	35,04	5,01
128	60,2	789,4	1,3	34,99	5,00
129	59	790,2	2,1	34,92	4,99
130	56	759,4	0,1	34,85	4,98
131	57,7	767,4	0,2	35,01	5,00
132	57	757,6	1,3	35,14	5,02
133	57	761,9	0,2	34,99	5,00
134	56,4	749,4	0,2	35,00	5,00

135	55,6	760,3	0	35,04	5,01
136	56	755,2	0	35,00	5,00
137	56,6	759,2	0	35,19	5,03
138	58	751,3	0	35,10	5,01
139	58,2	762,4	0,7	35,06	5,01
140	51,6	697,4	0,6	34,82	4,97
141	52,4	779,4	0,3	34,89	4,98
142	53,6	693,6	0,5	35,04	5,01
143	53,2	752,4	1,5	35,75	5,11
144	54,8	620,2	0,6	34,76	4,97
145	54	691,9	2	35,42	5,06
146	55	659,2	2	33,55	4,79
147	57,2	769,4	2	34,69	4,96
148	56	667,3	0,9	34,16	4,88
149	56,6	738,3	0,7	35,07	5,01
150	58,2	617,5	0,4	34,16	4,88
151	54,6	672,5	0,2	34,87	4,98
152	54,4	615,6	0,6	33,16	4,74
153	55,2	671,2	0,6	34,38	4,91
154	54,6	598,2	1,3	33,51	4,79
155	53,4	666,9	1,1	34,30	4,90
156	53,8	592,4	0	33,14	4,73
157	53,2	671,5	0,6	34,44	4,92
158	52	594,2	0,2	33,09	4,73
159	52,2	673,9	0	34,53	4,93
160	52,2	583,2	0	33,29	4,76
161	53,4	647,6	0	34,67	4,95
162	52,8	585,7	0	33,01	4,72
163	55,2	654,9	0	34,16	4,88
164	52,4	590	0	33,02	4,72
165	52,8	656,9	0	34,07	4,87
166	52,4	590	1,9	33,15	4,74
167	56,2	662,4	1,2	34,36	4,91
168	54,4	594,5	0,5	33,15	4,74
169	56,4	658,4	1,6	34,07	4,87

170	47,2	470,9	2,9	33,08	4,73
171	47,4	597,2	2,1	33,99	4,86
172	46,4	497,7	4,1	28,69	4,10
173	47,4	601,2	6,7	33,74	4,82
174	47,2	496,5	0	30,09	4,30
175	47,6	610,8	0	33,84	4,83
176	46,4	498,6	0	30,02	4,29
177	48,4	610,6	0	34,04	4,86
178	46,4	493,4	0	30,13	4,30
179	48,2	591,5	0	33,95	4,85
180	49,8	274,6	0	34,63	4,95
181	48,4	336,3	0	33,53	4,79
182	47,6	307,9	0	17,20	2,46
183	48,6	345,3	0	20,91	2,99
184	46,6	271,6	0	19,19	2,74
185	46,6	336,6	0,7	21,45	3,06
186	46,6	280,8	0,2	16,99	2,43
187	47	374,8	0,2	20,90	2,99
188	45,4	314,9	0,6	17,54	2,51
189	46,6	343,5	0,2	23,18	3,31
190	37,4	269,6	1,2	19,59	2,80
191	39,2	285,1	4,5	21,31	3,04
192	36,4	241,5	1	16,77	2,40
193	37,6	284,8	0,7	17,73	2,53
194	36,8	217,2	1,4	15,06	2,15
195	37,6	255,9	3	17,69	2,53
196	37,2	209,5	0,3	13,59	1,94
197	38,4	241,1	2	15,95	2,28
198	37,2	194,7	0,2	13,12	1,87
199	38,2	235,4	0,7	15,06	2,15
200	34,2	65,6	1,7	12,21	1,74
201	33	74,6	2	14,71	2,10
202	31,8	67,5	2	4,17	0,60
203	32,8	78,8	1	4,73	0,68
204	32,2	67,9	1	4,28	0,61

205	32,6	79,9	1,5	4,99	0,71
206	32,4	67,9	2	4,31	0,62
207	32,4	77,5	0,5	5,06	0,72
208	33,2	67,4	0,6	4,31	0,62
209	33,8	76,6	3,9	4,91	0,70
210	31,8	50	0,2	4,28	0,61
211	32,6	65,5	0,5	4,86	0,69
212	32,2	61,2	0,2	3,18	0,45
213	32,6	91,4	0,4	4,16	0,59
214	32,2	47	0,2	3,88	0,55
215	32,6	84,4	0,4	5,78	0,83
216	32,2	46,9	0,2	2,99	0,43
217	33	73,4	0,4	5,34	0,76
218	33	42,2	0,8	2,98	0,43
219	32,6	66	2,9	4,65	0,66
220	31	21,8	1	2,69	0,38
221	32,2	47	0,1	4,19	0,60
222	30,8	21,1	0,1	1,39	0,20
223	31	39	0	2,99	0,43
224	31	20,9	0,2	1,34	0,19
225	31,4	40,7	0,2	2,48	0,35
226	30,2	18,8	0,1	1,33	0,19
227	31,2	35,6	0,2	2,59	0,37
228	30,6	18,4	0,1	1,20	0,17
229	30,6	16,4	0	2,26	0,32
230	28,6	3,5	1,5	1,17	0,17
231	28,6	3,7	1,6	1,05	0,15
232	28,6	3,6	1,4	0,22	0,03
233	28,8	3,6	1,1	0,24	0,03
234	28,8	3,3	2	0,23	0,03
235	28,6	3,3	2,1	0,23	0,03
236	28,6	3,3	2,2	0,21	0,03
237	28,8	3,3	2,3	0,21	0,03
238	28,8	3,1	2,7	0,21	0,03
239	28,6	3,1	2,8	0,21	0,03

LAMPIRAN C

DATA HASIL PENGUKURAN PV PANEL *ACTIVE*

Data ke-	Temperatur	Radiasi matahari (Watt/m ²)	Kec. Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)
	(°C)				
1	34,2	69	3,53	4,38	0,63
2	34,2	69	3,53	4,38	0,63
3	34,2	68	3,40	4,32	0,62
4	34,2	68	3,40	4,32	0,62
5	34,2	137	3,40	8,63	1,23
6	25,2	137	2,95	8,59	1,23
7	25,2	689	2,95	37,68	5,38
8	32,8	689	2,50	36,96	5,28
9	32,8	128	2,50	8,07	1,15
10	28,2	128	2,32	8,04	1,15
11	28,2	141	2,32	8,85	1,26
12	26,6	141	2,06	8,84	1,26
13	26,6	498	2,06	29,99	4,28
14	32,2	498	1,83	30,06	4,29
15	32,2	581	1,83	34,12	4,87
16	26,8	581	1,65	34,26	4,89
17	26,8	581	1,65	34,26	4,89
18	26,8	826	1,65	39,29	5,61
19	34,8	826	0,49	38,31	5,47
20	34,8	826	0,49	38,31	5,47
21	34,8	760	0,49	37,70	5,39
22	32,2	760	1,65	38,00	5,43
23	32,2	879	1,65	39,03	5,58
24	35,6	879	1,61	38,60	5,51

25	35,6	291	1,61	18,04	2,58
26	32	291	1,43	18,00	2,57
27	32	1012	1,43	39,79	5,68
28	31,4	1012	1,43	39,87	5,70
29	31,4	644	1,43	36,16	5,17
30	31,8	644	0,67	36,13	5,16
31	31,8	264	0,67	16,38	2,34
32	27,8	70	1,39	4,43	0,63
33	24,4	70	1,34	4,42	0,63
34	24,4	70	1,34	4,42	0,63
35	24,4	348	1,34	21,30	3,04
36	32,2	348	1,30	21,40	3,06
37	32,2	471	1,30	28,55	4,08
38	32,2	471	1,30	28,55	4,08
39	32,2	866	1,30	38,94	5,56
40	34,6	866	1,30	38,64	5,52
41	34,6	647	1,30	35,97	5,14
42	27,8	647	1,25	36,51	5,22
43	27,8	871	1,25	39,53	5,65
44	33,6	871	1,25	38,80	5,54
45	33,6	871	1,25	38,80	5,54
46	34,6	871	1,25	38,67	5,52
47	34,6	868	1,25	38,65	5,52
48	34,6	868	1,25	38,65	5,52
49	34,6	868	1,25	38,65	5,52
50	34,6	1052	1,25	39,63	5,66
51	34,6	1052	1,25	39,63	5,66
52	34,6	1052	1,25	39,63	5,66
53	34,6	875	1,25	38,70	5,53
54	33,6	875	1,21	38,82	5,55

55	29,6	899	0,63	39,49	5,64
56	35,4	899	1,21	38,75	5,54
57	35,4	70	1,21	4,45	0,64
58	25,1	70	1,12	4,42	0,63
59	25,1	889	1,12	39,99	5,71
60	34,8	889	1,12	38,76	5,54
61	34,8	889	1,12	38,76	5,54
62	35,9	820	0,04	38,13	5,45
63	35	820	1,12	38,24	5,46
64	35	820	1,12	38,24	5,46
65	35	820	1,12	38,24	5,46
66	35	820	1,12	38,24	5,46
67	35	538	1,12	32,16	4,59
68	32,6	538	1,12	32,17	4,60
69	32,6	538	1,12	32,17	4,60
70	32,6	538	1,12	32,17	4,60
71	30,6	538	1,12	32,18	4,60
72	30,6	82	1,12	5,19	0,74
73	24,4	82	1,07	5,17	0,74
74	24,4	82	1,07	5,17	0,74
75	24,4	92	1,07	5,79	0,83
76	24,4	92	1,07	5,79	0,83
77	24,4	428	1,07	25,96	3,71
78	24,8	428	1,07	25,97	3,71
79	24,8	909	1,07	40,16	5,74
80	34,6	909	1,03	38,91	5,56
81	34,6	909	1,03	38,91	5,56
82	34,6	82	1,03	5,20	0,74
83	24,4	82	1,03	5,17	0,74
84	24,4	793	1,03	39,26	5,61

85	36,2	793	1,03	37,86	5,41
86	36,2	912	1,03	38,73	5,53
87	36,2	912	1,03	38,73	5,53
88	36,2	712	1,03	36,95	5,28
89	32,5	712	0,98	37,35	5,34
90	32,5	712	0,98	37,35	5,34
91	32,5	184	0,98	11,52	1,65
92	25,4	184	0,98	11,47	1,64
93	25,4	689	0,98	37,67	5,38
94	32,8	689	2,50	36,96	5,28
95	32,8	823	2,50	38,53	5,50
96	34,8	1000	0,58	39,37	5,62
97	37,1	42	0,98	2,68	0,38
98	23,6	42	0,94	2,66	0,38
99	23,6	42	0,94	2,66	0,38
100	22,8	1002	0,36	40,94	5,85
101	36,8	1002	0,94	39,12	5,59
102	36,8	659	0,94	36,02	5,15
103	27,8	659	0,94	36,81	5,26
104	27,8	659	0,94	36,81	5,26
105	27,8	659	0,94	36,81	5,26
106	27,8	982	0,94	40,19	5,74
107	30,2	982	0,94	39,88	5,70
108	30,2	689	0,94	37,21	5,32
109	32,8	689	2,50	36,96	5,28
110	32,8	982	2,50	39,54	5,65
111	30,2	877	0,94	39,27	5,61
112	36	877	0,04	4,89	0,70
113	36	1028	0,04	39,34	5,62
114	36,6	1028	0,94	39,26	5,61

115	36,6	375	0,94	23,05	3,29
116	28,8	375	0,94	22,94	3,28
117	28,8	1040	0,94	40,34	5,76
118	32,8	1040	0,94	39,81	5,69
119	32,8	1073	0,94	39,95	5,71
120	32,8	1073	0,94	39,95	5,71
121	32,8	69	0,94	4,38	0,63
122	22,6	69	0,89	4,35	0,62
123	22,6	68	0,89	4,29	0,61
124	22,8	68	0,89	4,29	0,61
125	22,8	428	0,89	25,94	3,71
126	24,8	428	0,89	25,97	3,71
127	24,8	650	0,89	36,81	5,26
128	27,8	650	0,89	36,59	5,23
129	27,8	428	0,89	26,02	3,72
130	24,8	428	0,89	25,97	3,71
131	24,8	227	0,89	14,08	2,01
132	27,4	227	0,89	14,10	2,01
133	27,4	227	0,89	14,10	2,01
134	27,4	906	0,89	39,81	5,69
135	34,2	899	0,89	38,90	5,56
136	34,2	899	0,89	38,90	5,56
137	34,2	906	0,89	38,95	5,56
138	34,2	822	0,89	38,35	5,48
139	34,8	880	0,09	38,71	5,53
140	36,5	702	0,09	36,78	5,25
141	28,6	702	0,89	37,60	5,37
142	28,6	702	0,89	37,60	5,37
143	28,6	1000	0,89	40,18	5,74
144	36,2	1000	0,89	39,19	5,60

145	36,2	1000	0,89	39,19	5,60
146	36,2	358	0,89	22,04	3,15
147	27,4	939	0,89	40,01	5,72
148	36,7	939	0,89	38,82	5,55
149	36,7	939	0,89	38,82	5,55
150	36,7	939	0,89	38,82	5,55
151	36,7	939	0,89	38,82	5,55
152	36,7	778	0,89	37,66	5,38
153	32,6	778	0,89	38,14	5,45
154	32,6	778	0,89	38,14	5,45
155	32,6	778	0,89	38,14	5,45
156	32,6	798	0,89	38,34	5,48
157	38,6	798	0,89	37,61	5,37
158	38,6	659	0,89	35,85	5,12
159	34,6	659	0,89	36,23	5,18
160	34,6	227	0,89	14,16	2,02
161	32,7	227	0,85	14,15	2,02
162	32,7	565	0,85	33,44	4,78
163	29,2	641	0,85	36,25	5,18
164	27,4	641	0,85	36,38	5,20
165	27,4	595	0,85	34,83	4,98
166	32,2	595	0,85	34,65	4,95
167	32,2	821	0,85	38,59	5,51
168	34,8	821	0,85	38,27	5,47
169	34,8	348	0,85	21,43	3,06
170	25,5	348	0,80	21,31	3,04
171	25,5	348	0,80	21,31	3,04
172	25,5	264	0,80	16,32	2,33
173	23,6	264	0,80	16,30	2,33
174	23,6	316	0,80	19,40	2,77

175	28,8	316	0,80	19,46	2,78
176	28,8	316	0,80	19,46	2,78
177	28,8	576	0,80	34,00	4,86
178	26,8	576	0,80	34,04	4,86
179	26,8	576	0,80	34,04	4,86
180	26,8	913	0,80	39,93	5,70
181	38,2	913	0,80	38,48	5,50
182	38,2	913	0,80	38,48	5,50
183	38,2	1012	0,80	38,98	5,57
184	31,8	1012	0,80	39,82	5,69
185	31,8	1035	0,80	39,92	5,70
186	32	1035	0,80	39,90	5,70
187	32	227	0,80	14,14	2,02
188	33	227	0,76	14,15	2,02
189	33	227	0,76	14,15	2,02
190	33	66	0,76	4,19	0,60
191	22,8	66	0,76	4,16	0,59
192	22,8	796	0,76	39,48	5,64
193	38,2	796	0,76	37,64	5,38
194	38,2	796	0,76	37,64	5,38
195	38,2	22	0,76	1,41	0,20
196	22,6	22	0,45	1,39	0,20
197	22,6	565	0,45	33,54	4,79
198	29,2	565	0,72	33,50	4,79
199	29,2	598	0,72	34,89	4,98
200	35,6	598	0,58	34,58	4,94
201	35,6	264	0,58	16,42	2,35
202	23,6	264	0,72	16,30	2,33
203	23,6	644	0,72	36,71	5,24
204	31,8	644	0,67	36,13	5,16

205	31,8	760	0,67	38,05	5,44
206	32,2	760	1,65	38,00	5,43
207	32,2	710	1,65	37,35	5,34
208	36,2	710	0,67	36,92	5,27
209	36,2	68	0,67	4,32	0,62
210	23	68	0,45	4,29	0,61
211	23	61	0,45	3,85	0,55
212	24,8	61	0,63	3,85	0,55
213	24,8	61	0,63	3,85	0,55
214	24,8	195	0,63	12,14	1,73
215	23,2	195	0,63	12,13	1,73
216	23,2	195	0,63	12,13	1,73
217	23,2	141	0,63	8,82	1,26
218	28,3	141	0,63	8,85	1,26
219	28,3	141	0,63	8,85	1,26
220	28,3	566	0,63	33,56	4,79
221	34,5	566	0,63	33,44	4,78
222	34,5	134	0,63	8,45	1,21
223	28,2	134	0,63	8,42	1,20
224	28,2	134	0,63	8,42	1,20
225	28,2	217	0,63	13,50	1,93
226	24,8	217	0,63	13,47	1,92
227	24,8	211	0,63	13,11	1,87
228	33	211	0,63	13,18	1,88
229	33	875	0,63	38,90	5,56
230	29,6	875	0,63	39,33	5,62
231	29,6	826	0,63	38,95	5,56
232	35,6	826	0,63	38,21	5,46
233	35,6	823	0,63	38,19	5,46
234	34,8	991	0,58	39,33	5,62

235	36,2	991	0,63	39,15	5,59
236	36,2	991	0,63	39,24	5,59
237	36,2	991	0,63	39,15	5,59
238	36,2	991	0,63	39,15	5,59
239	23,6	44	0,61	3,23	0,31
240	23,6	44	0,61	3,23	0,31

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 13 Nopember 1993. Pada saat ini bertempat tinggal di Jl. Cuping Desa Madulegi Kecamatan Sukodadi Kabupaten Lamongan. Pada tahun 2006, penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN Sukodadi I Lamongan. Pada Tahun 2009 menyelesaikan pendidikan tingkat menengah di SMPN 2 Lamongan.

Pada tahun 2012 menyelesaikan pendidikan tingkat menengah di SMAN 3 Lamongan. Pada tahun 2015 menyelesaikan pendidikan Diploma di Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi, FTI-ITS. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan pada tahun 2016 Lintas Jalur di S1-Teknik Fisika, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email berikut: dhi.triana@gmail.com